NÜRNBERG

Referat für Umwelt und Gesundheit

Daten zur Nürnberger Umwelt /
Sonderausgabe

Grundwasser-bericht 2023



Herausgeber:
Stadt Nürnberg / Referat für Umwelt und Gesundheit
Hauptmarkt 18
90403 Nürnberg

Tel.: 0911 / 231 – 4977
Fax: 0911 / 231 – 3391
Mail: umweltreferat@stadt.nuernberg.de

Koordination, Konzeption, Gesamtredaktion:
Stadt Nürnberg / Umweltamt:
Gisela Löhr
Stefan Schuster
Mechthild Wellmann
Dr. Klaus Köppel

Autoren:
Die an der Datenrecherche und Texterstellung beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter externer Organisationen und der Stadtverwaltung sind am Ende des Berichtes im Anhang VIII – Autorenverzeichnis aufgeführt.

Fotos:
vgl. Anhang III – Abbildungsverzeichnis

Diagramme, Karten:
Kartengrundlagen: Amt für Geodaten und Bodenordnung, wo nichts anderes vermerkt
Karten: vgl. Anhang V – Kartenverzeichnis
Kartenumsetzung: Raimund Rech, wo nichts anderes vermerkt

Illustration: Titelseite, Abbildung 18
Studio Plan X, Alexandra Kuhn

Datenquellen:
Wo nicht anders vermerkt, stammen die Daten von den Dienststellen der Stadt Nürnberg (Jahres- und Geschäftsberichte, interne Angaben und Auswertungen).

Papier:
Chlorfrei gebleichtes Bilderdruckpapier

Druck:
SAFNER Druck und Verlags GmbH
Mittelgrundstraße 24/28
96170 Priesendorf bei Bamberg

Auflage:
300 Exemplare

Bezugsadresse:
Stadt Nürnberg Umweltamt
Abteilung UwA/1 Umweltplanung
Bauhof 2
90402 Nürnberg

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Broschüre auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich. Alle Rechte vorbehalten.

Nürnberg, September 2023

Referat für Umwelt und Gesundheit

Grundwasser-bericht 2023

Vorwort



Britta Walthelm
Referentin für Umwelt und Gesundheit



Dr. Klaus Köppel
Leiter des Umweltamtes

Seit 35 Jahren legt das Umweltamt Grundwasserberichte vor. Wir freuen uns, hiermit den siebten Bericht in dieser Reihe vorstellen zu können. Angesichts des Klimawandels bildet – wie im Grundwasserbericht 2017 angekündigt – die intensive Untersuchung der quantitativen Situation des Grundwassers im Stadtgebiet (Grundwasserneubildung und –bilanz) einen neuen Schwerpunkt.

Positiv kann dazu festgestellt werden, dass hier (noch) ein guter quantitativer Zustand und eine nachhaltige Nutzung vorliegen. In Folge der klimatischen Veränderungen nimmt jedoch die Grundwasserneubildung nachweislich ab und die oberflächennahen Grundwasserstände sinken.

Eine wichtige Zukunftsaufgabe als Reaktion auf den Klimawandel ist daher die wassersensible Stadtentwicklung (Schwammstadt) im Neubau und vor allem zunehmend im Bestand. Um weiterhin eine nachhaltige Grundwassernutzung sicherzustellen, sind erhebliche zusätzliche Anstrengungen erforderlich. Gleiches gilt für den dringenden Appell zum sparsamen und intelligenten Umgang mit Wasser.

Eine gesonderte Betrachtung erfährt in diesem Bericht die Häufung von Starkniederschlägen im Stadtgebiet. Ein Phänomen des Klimawandels, der sich durch stärkere Extrem-Wetterlagen auszeichnet.

Ein zentrales Ergebnis unseres aktuellen Grundwasserberichts zeigt: das Ziel der Wasserrahmenrichtlinie – ein guter chemischer Zustand der Grundwasserkörper – ist im Norden und Südwesten unseres Stadtgebietes noch immer nicht erreicht. Auch bis 2027 werden wir dieses Ziel nicht erreichen können. Die Ursachen

sind vor allem die Hauptschadstoffe Nitrat, Pflanzenschutzmittel und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS). Es bleibt damit weiterer langfristiger Handlungsbedarf. Dies gilt auch und insbesondere für die Altlastenerkundungen und -sanierungen, für die ganz aktuell die rechtlichen Rahmenbedingungen für Boden- und Grundwasserschutz maßgeblich geändert wurden.

Bereits im Grundwasserbericht 2017 wurde umfangreich zum geothermischen Potential des oberflächennahen Grundwasserkörpers berichtet. Im vorliegenden Bericht wird die durch unterirdische Bauten erzeugte Wärmeinsel im Stadtgebiet näher untersucht. Das energetische Potential lohnt für eine weitergehende Betrachtung in der weiteren Berichterstattung.

Der aktuelle Grundwasserbericht wurde wieder mit zahlreichen Kolleginnen und Kollegen staatlicher Fachbehörden, universitärer Forschungseinrichtungen, Wasserversorgern, Sachverständigen und weiteren Stellen der Stadtverwaltung erarbeitet. Das bayerische Landesamt für Umwelt, das staatliche Wasserwirtschaftsamt Nürnberg, die bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau Würzburg, das Geozentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Fürth-Uffenheim, die NERGIE AG, der Wasserverband Knoblauchsland, das Sachverständigenbüro Eber, der Servicebetrieb öffentlicher Raum der Stadt Nürnberg haben eigene Beiträge zu diesem Bericht beigesteuert. Die Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg hat die Untersuchungen des Grundwassermonitorings durchgeführt.

Hierfür und für die insgesamt sehr gute Zusammenarbeit gilt unser herzlicher Dank. Gleiches gilt auch den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Umweltamtes, die eigene Beiträge erstellt und die intensive Koordinationsarbeit bewältigt haben. Danke!

Der vorsorgende Grundwasserschutz ist und bleibt somit eine dauerhafte Gemeinschaftsaufgabe von Politik, Verwaltung, Unternehmen und Bürgern, um diese wertvolle und lebensnotwendige Ressource mit ihren vielfältigen ökologischen und ökonomischen Funktionen zu schützen und zu bewahren. Angesichts der Zuführung sehr großer Wassermengen für Trinkwasserversorgung, Beregnung und Wasserführung der Flüsse in unsere Stadt, reicht diese Verantwortung deutlich über das Stadtgebiet Nürnberg hinaus. Eine weiterhin gute Zusammenarbeit über die Grenzen von Verwaltung und örtlichen Zuständigkeiten hinweg ist daher von größter Bedeutung.

Wir wünschen eine anregende Lektüre und vielfältige Beachtung der mit diesem Grundwasserbericht 2023 vorgelegten Informationen und Erkenntnisse.



Britta Walthelm
Referentin für Umwelt und Gesundheit



Dr. Klaus Köppel
Leiter des Umweltamtes

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 4

Zusammenfassung und Fazit 8

1 Grundwassersituation in Nürnberg 13

1.1 Grundwasserqualität 15
1.1.1 Überwachung der Grundwasserqualität 15
1.1.2 Grundwasserbelastungssituation – Hauptschadstoffe und Leitparameter 17
1.1.3 Grundwasserbelastungssituation – PFAS 35
1.1.4 Grundwasserbelastungssituation im Knoblauchsland –Sonderuntersuchungsprogramm des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg 41
1.1.5 Zustand der Gewässer gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie 47
1.1.6 Nitratbelastete Gebiete – Ausweisung Roter Gebiete nach Düngeverordnung 53
1.1.7 Maßnahmen in der Landwirtschaft für den Gewässerschutz 57
1.1.7.1 Optimierung der Düngung 57
1.1.7.2 Vorgaben und Entwicklungen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 60
1.1.8 Nachsorgender Grundwasserschutz 63
1.1.8.1 Altlastenbearbeitung 63
1.1.8.2 Auswirkungen der novellierten BBodSchV auf die Altlastensachbearbeitung 65
1.2 Grundwassertemperatur in Nürnberg – Geothermische Nutzung 68
1.2.1 Untersuchung und Überwachung der Grundwassertemperatur 68
1.2.2 Grundwassertemperaturverteilung in Nürnberg 70
1.2.3 Aktueller Stand der Nutzung von Geothermie 76
1.2.4 Thermische Interaktion und gegenseitige Beeinflussung geothermischer Anlagen 81
1.3 Grundwasserquantität 85
1.3.1 Erhebung der Grundwasserstände 85
1.3.2 Entwicklung der Grundwasserstände im Stadtgebiet 87
1.3.3 Aktualisierte Grundwasserkarten 94

2 Nürnbergs Wasserhaushalt im Klimawandel – Herausforderungen – Maßnahmen 97

2.1 Der Wasserhaushalt 97
2.2 Wasserstrategien - Rahmenbedingungen und Herausforderungen 100
2.2.1 Globale und nationale Wasserstrategien 100
2.2.2 Wasserwirtschaftliche Verhältnisse 102
2.2.3 Herausforderungen für die Wasserwirtschaft, die Wassernutzer und die Stadtverwaltung 106
2.3 Daten zum Nürnberger Wasserhaushalt 108
2.3.1 Klimatische Entwicklung 108

2.3.2 Bedeutung der Versiegelung für den Wasserhaushalt ... 111
2.3.3 Grundwasserneubildung und Grundwasserstände in der Region Nürnberg – Entwicklungen in der Vergangenheit und Ausblick in die Zukunft ... 113
2.3.4 Grundwasserentnahmen und Bilanzierung der Wasserressource ... 118
2.4 Auswirkungen eines verändernden Wasserhaushalts auf den Naturhaushalt am Beispiel des Marienbergweihers ... 125
2.5 Trinkwasserversorgung der Stadt Nürnberg – Entwicklung in den Wasserschutzgebieten ... 132
2.6 Nachhaltigkeit bei betrieblichen und landwirtschaftlichen Gewässerbenutzungen ... 137
2.6.1 Grundwasserschutz in der wasserrechtlichen Genehmigungspraxis ... 137
2.6.2 Herausforderungen für die Bewässerung des Knoblauchslandes ... 140
2.6.3 Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Bewässerung im Garten- und Ackerbau ... 145
2.7 Wassersensible Stadtentwicklung ... 149
2.7.1 Versickerung von Niederschlagswasser – Aktueller Stand ... 150
2.7.2 Wassersensible Stadtentwicklung – Beispiele in Nürnberg ... 152
2.7.2.1 Umgang mit Niederschlagswasser in der Bauleitplanung ... 152
2.7.2.2 Zukunftsweisende Planungsbeispiele ... 155
2.7.3 Hydrogeologische Strategieplanungen zur Schwammstadt in Nürnberg ... 165
2.7.3.1 Hydrogeologische Untersuchungsmethoden – Grundlage für Schwammstadtkonzepte ... 166
2.7.3.2 Hydrologische Untersuchungen zur Nutzung eines vorhandenen Wasserspeichers in Nürnberg – der Alte Kanal ... 169
2.8 Starkregen und Hochwasserschutz in Nürnberg ... 177
2.8.1 Umgang mit Starkregen ... 177
2.8.2 Überschwemmungsgebiete und Hochwasserschutz ... 181

Anhänge

Anhang I: Weiterführende Informationen zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser ... 184
Anhang II: Glossar ... 186
Anhang III: Abbildungsverzeichnis ... 191
Anhang IV: Diagrammverzeichnis ... 195
Anhang V: Kartenverzeichnis ... 198
Anhang VI: Tabellenverzeichnis ... 200
Anhang VII: Literaturverzeichnis ... 201
Anhang VIII: Autorenverzeichnis ... 208

Anlagen

Anlage 1: Grundwassergleichenplan (Stichtagsmessung März 2022)
Anlage 2: Flurabstandskarte (Stichtagsmessung März 2022)
Anlage 3: Grundwasserbelastungskarte

Zusammenfassung und Fazit

Mit der Verabschiedung der Nationalen Wasserstrategie der Bundesrepublik Deutschland am 15.03.2023 wird deutlich, dass das Thema „Umgang mit der Ressource Wasser" ein wichtiges Handlungsfeld auch auf höchster politischer Ebene geworden ist. „Die Versorgung mit Trinkwasser zu gewährleisten, Grundwasser und Ökosysteme zu schützen, Landwirtschaft und Wirtschaft mit ausreichend Wasser zu versorgen – das sind Kernziele der Nationalen Wasserstrategie", teilt die Bundesregierung mit.

Auch das Bayerische Umweltministerium bezeichnet das Thema Wasser, neben dem Klima- und Artenschutz, als drittes großes Existenzthema. Die Sicherung der Wasserzukunft in all seinen Facetten – Hochwasser und Starkregen auf der einen Seite und Trockenheit und sinkende Grundwasserstände auf der der anderen Seite – erfordert einen ganzheitlichen und nachhaltigen Ansatz und ein modernes Wassermanagement.

Teil des Wassermanagements ist der Grundwasserschutz. Nicht nur angesichts der Auswirkungen des Klimawandels auf den (Grund-)Wasserhaushalt, sondern auch durch andauernde Flächeninanspruchnahme und Versiegelung in den Städten, ergibt sich dort ein besonderer Handlungsbedarf.

Mit dem vorliegenden, mittlerweile 7. Grundwasserbericht wird deutlich, dass sich die Stadt Nürnberg schon seit langem mit dem Schutz des Grundwasserwassers und der Reduzierung der Grundwasserbelastungen auseinandergesetzt hat und somit frühzeitig die Wichtigkeit der Vorsorge und Überwachung der Ressource Grundwasser – mit seiner Bedeutung für den Wasser- und Naturhaushalt der Stadt, aber auch für die Daseinsvorsorge der Stadtbevölkerung – erkannt hat. Wesentliche Basis dafür ist einerseits die langjährige sehr gute Vernetzung und Zusammenarbeit mit externen Forschungseinrichtungen, übergeordneten Behörden und Ingenieurbüros und andererseits die bei der Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN) zur Verfügung stehenden Untersuchungs- sowie Laborkapazitäten und -kompetenzen.

Angesichts der spürbaren Auswirkungen des Klimawandels widmet sich dieser Bericht – neben der Darstellung der aktuellen Grundwassersituation, die mit dem mittlerweile 35-jährigen Grundwassermonitoring kontinuierlich untersucht wird – dem Nürnberger Wasserhaushalt im Klimawandel und den sich daraus ergebenden Herausforderungen.

Hinsichtlich der Grundwasserqualität im Nürnberger Stadtgebiet zeigt sich – bezogen auf die Hauptschadstoffe – zusammenfassend folgende Entwicklung:

- Die Schwerpunktbereiche der Belastungen mit LHKW (Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe), die überwiegend in den alten Industriegebieten im Süden und Südwesten Nürnbergs zu finden sind, haben sich in den letzten Jahren kaum verändert. Wenngleich durch die erfolgten Sanierungsmaßnahmen bereits erhebliche Schadstoffmengen aus dem Grundwasser entfernt werden oder zumindest erheblich reduziert werden konnten, verbleiben Belastungsbereiche mit Werten > 40 µg/l, die gemäß der vorliegenden Maßnahmen- und Orientierungswerte eine relevante Grundwasserbelastung darstellen.

- Hohe bis sehr hohe Nitratkonzentrationen werden nach wie vor in den intensiv landwirtschaftlich genutzten Bereichen im Nürnberger Norden gefunden, die z.T. über 150 bis max. 400 mg/l und damit bereichsweise weit über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkWV) liegen. Untergeordnet finden sich auch im Süden und Südwesten Überschreitungen des TrinkWV-Grenzwertes. Gemäß Düngemittelverordnung sind diese Gebiete als „Rote Gebiete" gekennzeichnet. Wenngleich in Teilbereichen stagnierende bis leicht abnehmende Belastungen festgestellt werden konnten, ist eine einheitliche Tendenz nicht erkennbar. Daher sind weiterhin die konsequente Umsetzung der definierten Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und Düngemittelverordnung, nachhaltige Bewässerungsmethoden sowie kontinuierliche Erfolgskontrollen erforderlich.

- Die Parameterliste zur Erfassung der Belastung mit Pflanzenschutzmitteln (PSM) war im vorliegenden Untersuchungssuchungszeitraum deutlich erweitert worden und ermöglicht somit eine differenziertere Auswertung; lässt aber eine direkte Vergleichbarkeit mit früheren Untersuchungen nur noch bedingt zu. Über das Stadtgebiet verteilt zeigen sich Schwerpunktbereiche mit Pflanzenschutzmittelbelastungen, die sowohl in den landwirtschaftlichen Bereichen, wie dem Knoblauchsland und in Krottenbach, aber auch in städtisch geprägten Bereichen, wie am Südbahnhof und im Umfeld von öffentlichen Grünflächen zu finden sind.

- Erhöhte Konzentrationen mit Chlorid wurden im gesamten Stadtgebiet im Grundwasser angetroffen; höhere Konzentrationen finden sich vor allem entlang von Verkehrswegen und in Industriegebieten, sind aber auch auf die im gesamten Stadtgebiet anzutreffenden Auffüllmaterialien zurückzuführen. Insgesamt sind die Belastungen gegenüber dem Untersuchungszeitraum 2011 – 2016 geringfügig erhöht.

- Für die Belastung mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) kann in diesem Grundwasserbericht erstmals eine gesamtstädtische Übersicht gegeben werden. Diese Stoffe, die in vielen Produkten (Lebensmittelverpackungen, Textilien, aber auch in Löschschäumen) seit langem eingesetzt werden, sind aufgrund ihrer Persistenz in den Fokus der Altlastenbearbeitung gelangt. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass zwar Belastungen bzw. Kontaminationen mit PFAS über das gesamte Stadtgebiet verteilt vorliegen, die Anzahl der Schadensfälle sich aber in einem überschaubaren Rahmen bewegt.

Die qualitative Bewertung der Grundwasserkörper auf Basis der EG-Wasserrahmenrahmenrichtlinie zeigt, dass der chemische Zustand in Teilbereichen – im Nürnberger Norden und Südwesten – in keinem guten Zustand ist. Ursachen sind vor allem die vorab genannten Hauptschadstoffe, Nitrat, Pflanzenschutzmittel und auch PFAS.

Im Rahmen des Grundwassermonitorings wurden auch die Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet untersucht. Differenzierte Ergebnisse dazu lieferte ein Forschungsprojekt des Geozentrums Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU). Sie zeigen eine deutlich erkennbare urbane Wärmeinsel im Nürnberger Stadtgebiet. Die Temperatur im dicht bebauten Innenstadtbereich liegt um bis zu 7 Kelvin über den Werten der unbebauten Stadtrandlagen. Zudem ist eine Erwärmung des Grundwassers in den letzten Jahren um durchschnittlich 0,07 K/Jahr erkennbar.

Die thermische Nutzung des Grundwassers durch geothermische Anlagen beläuft sich derzeit auf 79 Grundwasser-Wärmepumpenanlagen und 347 Erdwärmesonden-Anlagen. Darunter befinden sich 48 Sondenfelder. Die thermische Gesamtleistung aller Erdwärmesonden beläuft sich auf 14,4 Megawatt. Insgesamt ist eine steigende Tendenz geothermischer Nutzungen erkennbar. Die weitere Zunahme geothermischer Anlagen kann zu Konkurrenzsituationen und gegebenenfalls Abnahme der Effizienz von einzelnen Anlagen führen. Diese gegenseitigen Wechselwirkungen müssen zukünftig bei der Planung und Genehmigung stärker berücksichtigt werden.

Grundlage für alle mit vorliegendem Bericht erfassten Aspekte sind aktuelle und umfassende hydrogeologische Daten.

Aussagen zur Entwicklung der Grundwasserstände können nun auf Basis 10-jähriger, kontinuierlicher Zeitreihen (2013 – 2022) getroffen werden. Wenngleich die für Nürnberg relevanten Grundwasserkörper gemäß Bewertung nach Wasserrahmenrichtlinie in einem guten quantitativen Zustand sind, ist auch in Nürnberg ein Absinken der Grundwasserstände und damit ein Rückgang der Grundwasservorräte erkennbar.

Für die Aktualisierung der Grundwasserkarten wurde die Datenerhebung bewusst in das Frühjahr gelegt, um Grundwasserhochstände erfassen zu können. Aufgrund der defizitären Niederschläge im Winterhalbjahr 2021/2022 konnten sich die Grundwasservorräte allerdings nicht entsprechend auffüllen. Die aktuelle Karte bildet daher den mittleren Grundwasserstand ab.

Diese Daten bildeten auch eine wesentliche Grundlage für das zweite Schwerpunktthema dieses Grundwasserwasserberichtes: den Nürnberger Wasserhaushalt im Klimawandel.

Grundwasser spielt als Wasserspeicher und Wasserspender eine zentrale Rolle bei der Bewertung der Wasserressourcen in Nürnberg. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Städten, ist der natürliche Wasserhaushalt bereits deutlich in Richtung Oberflächenabfluss verschoben. Die erkennbare Zunahme von Extremwetterereignissen, wie Hitze und Starkregen, verstärkt diesen Effekt. Insgesamt gehen diese Veränderungen zu Lasten der Grundwasserneubildung. So hat sich die Grundwasserneubildungsrate in der Region Nürnberg nach den Untersuchungen des bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) in den letzten 10 Jahren durchschnittlich um 20 % auf rund 65 mm/Jahr reduziert.

Die Grundwasserentnahmemengen im Stadtgebiet haben im Untersuchungszeitraum insgesamt abgenommen, insbesondere durch die Betriebsaufgaben großer Nutzer. Im Berichtszeitraum wurden jedoch gleichzeitig 21 Brunnenanlagen mit einem Entnahmekontingent von 1 Mio. m³ neu genehmigt. Im Zeitraum 2017 – 2022 waren 466 Betriebs-, Beregnungs- und Grundwasser-Wärmepumpen-Brunnen mit einer genehmigten maximalen Entnahmemenge (Gesamtentnahmekontingent) von rd. 11 Mio m³ in Betrieb. Hinzu kommen Grundwasserentnahmen durch Bauwasserhaltungen, die zwar zeitlich begrenzt sind, aber immer wieder an unterschiedlichen Standorten und mit unterschiedlichen Entnahmemengen stattfinden. Weitere Grundwasserentnahmen erfolgen durch die ca. 2000 privaten Gartenbrunnen mit ca. 0,2 Mio m³/Jahr entnommenem Grundwasser im Stadtgebiet.

Zusammen mit den Entnahmen für die Trinkwasserversorgung werden aktuell tatsächlich ca. 9 Mio m³/Jahr Grundwasser im Stadtgebiet gefördert. Das entspricht ca. 22 % des jährlichen Wasserbedarfs insgesamt in Nürnberg. Um den gesamten Wasserbedarf von rund 40 Mio m³/Jahr abdecken zu können, müssen große Wassermengen ins Stadtgebiet importiert werden. Dies betrifft insbesondere die Zuleitung für den Bedarf an Trinkwasser mit rund 28 Mio m³/Jahr und für die Bewässerung des Knoblauchslandes mit 2,7 Mio m³/Jahr. Um die Versorgung der Wasserbedarfe unter den veränderten klimatischen Rahmenbedingungen auch zukünftig sicher zu stellen, ist, neben der Ausschöpfung aller Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung bei der Bewässerung, auch die konsequente Ausschöpfung der rechtlichen Möglichkeiten zu einem nachhaltigen Umgang in allen Facetten erforderlich.

Ein wesentlicher Aspekt dabei ist – neben der grundsätzlichen Vorgabe einer möglichst geringen Flächenneuinanspruchnahme, d.h. Versiegelung und Überbauung – die Rückhaltung von Niederschlagswasser im Gebiet. Bereits seit dem Stadtratsbeschluss 2013 besteht in Nürnberg die Verpflichtung, für alle Bebauungsplanverfahren die Möglichkeiten einer ortsnahen Beseitigung des anfallenden Niederschlagswassers zu prüfen. Bei ca. 70 % der seitdem in Kraft getretenen Bebauungspläne wurden auf Basis vorgelegter Entwässerungskonzepte entsprechende Maßnahmen umgesetzt.

Zukünftig ist jedoch ein noch weitreichenderer nachhaltiger Umgang mit Regenwasser erforderlich, der sich auch in einer wassersensiblen Stadtentwicklungsplanung niederschlagen muss. Dieses System aus Rückhaltung, Versickerung, Verdunstung und damit auch Kühlung wird bei den aktuellen Bebauungsplanverfahren, wie z.B. Tiefes Feld und Wetzendorf, bereits eingeplant bzw. umgesetzt. Die Umsetzung dieses Schwamm-

stadtprinzips muss aber auch im Bestand erfolgen, da hier ein weitaus größeres Potential liegt als in den Neubaubereichen. Wo immer möglich, werden daher bei Ausbau- und Sanierungsmaßnahmen, z.B. am Obstmarkt oder an der Ambergerstraße entsprechende Elemente der blau-grün-grauen Infrastruktur geplant und realisiert. Überlegungen für zukünftige Umsetzungsprojekte werden im vorliegenden Bericht u.a. im Freiraumkonzept Nürnberger Süden mit der sog. SüdstadtKlimaMeile und in der Studie des Geozentrums Nordbayern zur Reaktivierung des Ludwig-Main-Donau-Kanals als Wasserspeicher vorgestellt.

Aufgrund des mittlerweile über 35jährigen Grundwassermonitorings liegen fundierte Kenntnisse zum Nürnberger Grundwasservorkommen und dem Grundwasserhaushalt vor. Die im Rahmen des Grundwasserberichtes 2023 durchgeführten Untersuchungen, Auswertungen und fachlichen Expertisen hinsichtlich der Grundwasserqualität und –quantität zeigen, dass sich die Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserqualität zwar erkennbar niederschlagen, aber gleichzeitig noch über lange Jahre Grundwassersanierungen erforderlich sein werden. Bei der Belastung mit Nitrat und Pflanzenschutzmitteln in den Grundwasserkörpern im Knoblauchsland wird voraussichtlich erst nach 2027 ein guter chemischer Zustand erreichbar sein.

Hinsichtlich der Nutzung des Grundwassers (insbesondere für Betriebs- und Beregnungszwecke) kann noch von einer nachhaltigen Nutzung gesprochen werden, d.h. das Verhältnis zwischen Grundwasserentnahmen und Grundwasserneubildung liegt noch im Gleichgewicht gemäß dem Beurteilungsmaßstab nach Wasserrahmenrichtlinie.

Gleichzeitig zeigt sich, dass die klimatischen Veränderungen zu einer verringerten Grundwasserneubildung und damit zu einem gewissen Absinken der Grundwasserstände führen. Die Überleitung von Flusswasser aus dem süd- in den nordbayerischen Raum (Überleitung Donau – Main mit durchschnittlich rund 150 Mio m³/Jahr) über Altmühl-, Brombach- und Rothsee in die Rednitz trägt jedoch zu einer gewissen Nivellierung / Stabilisierung bei und hat damit auch für die Grundwasserkörper einen positiven Einfluss.

Der Nutzungsdruck auf das vorhandene Grundwasserreservoir wird auf Grund der klimatischen Rahmenbedingungen und neuer und weiterer Nutzungen (z.B. energetische Nutzung, Bewässerung) voraussichtlich wieder ansteigen. Deshalb gilt es, die Vergabe von Entnahmekontingenten – sowohl hinsichtlich der Menge, als auch der Dauer – künftig kritischer zu betrachten. Die Grundwasserkörper als Wasserreservoir weiter zu nutzen und gleichzeitig weiter zu pflegen, ist angesichts der Klimaprognosen eine der vorrangigen Aufgaben der Zukunft, um negative Auswirkungen auch auf die Stadtentwicklung zu verhindern.

1 Grundwassersituation in Nürnberg

Bedeutung der Ressource Grundwasser

Grundwasser ist eine bedeutende Wasserressource, aus ihm wird Trinkwasser und Brauchwasser für die Bewässerung sowie für gewerbliche Zwecke gewonnen (vgl. Kapitel 2.3.4 und 2.5). Grundwasser benötigen wir existentiell, in ausreichenden Mengen und guter Qualität. Die bedeutendste Grundwassernutzung ist die Trinkwassergewinnung, die gleichzeitig die höchsten qualitativen Ansprüche erfüllen muss. Grundwasser ist genauso auch ein elementarer Bestandteil im Naturkreislauf. So wirken sich z.B. sinkende Grundwasserspiegel erheblich auf Vegetation und Lebensraum aus und verändern unser Landschaftsbild.

Gefährdung und Beanspruchungen des Grundwassers

Grundwasser ist besonders in urbanen Räumen vielen Gefährdungen ausgesetzt. In einer Stadt wie Nürnberg, die dicht bebaut ist, zahlreiche Industrie- und Gewerbegebiet hat und v.a. auch ein historischer Industriestandort u.a. für die metallverarbeitende Industrie ist, kann es und ist es zu Belastungen des Bodens und Grundwassers aus produktionsbedingten Schadensfällen gekommen (vgl. Kapitel 1.1.2 und 1.1.8.1). In den landwirtschaftlich genutzten Bereichen des Stadtgebietes, insbesondere im intensiv genutzten Gemüseanbaugebiet Knoblauchsland, sind es vor allem die Schadstoffeinträge über Dünge- und Pflanzenschutzmittelanwendungen, die seit langem die Grundwasserqualität beeinträchtigen und aufgrund vieler Faktoren nur langsam im Grundwasser minimiert werden können (vgl. Kapitel 1.1.4).

Die mengenmäßige Beanspruchung des Grundwassers für direkte Nutzungen wie betriebliche Zwecke oder zur Bewässerung sowie die zunehmende direkte oder indirekte Nutzung des Grundwassers zur Klimatisierung von Gebäuden können sich sowohl quantitativ als auch qualitativ auf das Grundwasser auswirken. Und nicht zuletzt zeigt der Klimawandel seine Auswirkungen auf Grundwasserquantität und -temperatur und kann damit unter anderem auch die Grundwasserqualität beeinträchtigen.



Abbildung 1: Grundwasserberichte der Stadt Nürnberg *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Der Schutz des Grundwassers

Grundwasser muss also gut geschützt und mit ihm sorgsam umgegangen werden. Grundwasser, wie das Wasser generell, ist ein Allgemeingut. Gesetzliche Regelungen sorgen für den Schutz und den Nachhaltigen Umgang mit dieser Ressource (vgl. z.B. Kapitel 2.6.1). Das Umweltamt Nürnberg und das staatliche Wasserwirtschaftsamt Nürnberg als amtlicher Sachverständiger übernehmen die Aufgaben für das Stadtgebiet Nürnberg, fachlich fundiert über erforderliche Maßnahmen zum nachhaltigen Schutz des Grundwassers. Bereits eingetretene Beeinträchtigungen des Grundwassers werden verfolgt, erkundet und bei Bedarf saniert.

Das Grundwassermonitoring der Stadt Nürnberg

Um Grundwasser optimal zu schützen und zu nutzen, ist die Kenntnis über Grundlagendaten zum Wasserhaushalt, zur hydrogeologischen Situation und zu den natürlichen Voraussetzungen (Wasserinhaltsstoffe, Grundwassertemperatur, Grundwasserstände) wichtig. Durch die Beobachtung der Entwicklungen in der Zeitschiene können nachteilige Veränderungen frühzeitig erkannt werden. Dies ist die Aufgabe des flächendeckenden Grundwassermonitorings der Stadt Nürnberg (vgl. Grundwasserberichte 2011 und 2017 [49] [12]). Es liefert gleichzeitig wertvolle erste Planungshinweise und Grundlagen für Bau- oder Planungsvorhaben.

Das Grundwassermonitoring der Stadt Nürnberg wurde bereits Mitte der ´80er Jahre des vorigen Jahrhunderts begonnen. In den Jahren 2009 bis 2011 wurde dieses neu konzipiert und vor allem ein Grundwassermessnetz für die regelmäßige Erhebung von Grundwasserständen eingerichtet. Hier werden auch erste Daten zur Grundwassertemperatur erhoben. Ende 2012 wurde dieses Messnetz um ein Datenloggermessnetz ergänzt. Für die Grundwassserqualität besteht ein Messnetz aus Not- und Betriebsbrunnen.

Das Grundwassermonitoringprogramm wird in enger Zusammenarbeit des Umweltamtes (UwA) mit der Stadtentwässerung und Umweltanalytik (SUN) erarbeitet und umgesetzt. Insbesondere die Wartung und Pflege des Grundwassermessnetzes, die regelmäßige Erhebung der Grundwasserstände und -temperaturen, die Wartung und Auslesung der Datenlogger, die Organisation und Durchführung von Stichtagsmessungen und Sonderuntersuchungsprogramme liegt im Aufgabenbereich von SUN. Das staatliche Wirtschaftsamt Nürnberg (WWA) unterstützt bei konkreten Fragestellungen und fügt eigene Messporgramme bei.

Die Grundwasserberichte der Stadt Nürnberg dokumentieren in regelmäßigen Abständen seit nunmehr 35 Jahren die Ergebnisse dieser Überwachung. Mit dem vorliegenden 7. Grundwasserbericht werden im Kapitel 1 die Ergebnisse des Grundwassermonitorings der letzten 6 Jahre (2017 bis 2022) sowie die Entwicklungen im Vergleich zu den Vorjahres-Zeiträumen vorgestellt.

1.1 Grundwasserqualität

1.1.1 Überwachung der Grundwasserqualität

Das Messnetz zur Überwachung der Grundwasserqualität

Das Monitoring der Grundwasserqualität in der Stadt Nürnberg dient der Überwachung und Berichterstattung über die z.T. stark beanspruchten Grundwasserkörper. Zuvorderst werden die Belastungssituationen und Entwicklungen durch Hauptschadstoffe in einem gesamtstädtischen Überblick ermittelt. Und es werden das Ausmaß und die Verbreitung urbaner sowie diffuser Stoffeinträge geprüft.

Das Qualitätsmessnetz des Grundwassermonitorings soll den allgemeinen, flächendeckenden Zustand des Nürnberger Grundwassers dokumentieren und Grundlage für Maßnahmenkonzepte sein sowie frühzeitig ggf. neue oder bislang unentdeckte Belastungsherde erkennen helfen. Bei diesen Auswertungen bleiben Analysenwerte aus Sanierungsbrunnen oder von Einzel- und Altlastenuntersuchungen unberücksichtigt.

Für den Zeitraum 2017 – 2022 waren Untersuchungen von 310 Brunnen/Messstellen, für den vorausgegangenen Vergleichszeitraum 2011 – 2016 waren Analysendaten von 278 Brunnen/Messstellen verfügbar. Da nicht bei allen Messstellen immer alle Parameter analysiert werden konnten, kann die Anzahl der auswertbaren Brunnen/Messstellen je Schadstoff/Leitparameter differieren. Im Wesentlichen wurden die Messdaten von Notbrunnen sowie von Betriebs- und Beregnungsbrunnen, z.T. auch von geeigneten Garten- und Trinkwasserbrunnen herangezogen. Ergänzend wurde in 2022 ein Sondermessprogramm im Rahmen des Grundwassermonitorings durchgeführt. Hierbei wurden 23 zusätzlichen Messstellen mit dem Ziel ausgewählt, die Erkenntnisse zur Verbreitung der Hauptschadstoffe und Leitparameter zu verdichten. Ein weiteres Sondermessprogramm wurde vom staatlichen Wasserwirtschaftsamt Nürnberg im Knoblauchsland durchgeführt (vgl. Kapitel 1.1.4).

Hauptschadstoffe und Leitparameter

Die Hauptschadstoffe im Nürnberger Stadtgebiet stehen im Zusammenhang mit industriellen Nutzungen, verkehrlicher und sonstiger technischer Infrastruktur und der landwirtschaftlichen Nutzung vorwiegend im Norden und Süden des Stadtgebietes. Es sind im Wesentlichen die Schadstoffe Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW), Nitrat sowie Pflanzenschutzmittel (PSM). Eine neue Schwerpunktbetrachtung erfährt im vorliegenden Grundwasserbericht die Schadstoffgruppe der PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen), die in vielen Einsatzbereichen bereits seit den 70er Jahren Verwendung finden. Dieser Schadstoffgruppe wird ein eigenes Kapitel gewidmet (Kapitel 1.1.3). Die Hauptschadstoffe- und Leitparameter, die im Grundwasserbericht näher betrachtet werden, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Auswertungsmethodik und Bewertungskriterien

Als Bewertungskriterien für die Grundwasserqualität werden vorrangig die Grenzwerte aus der Trinkwasserverordnung (TrinkWV [1]) herangezogen. Auch wenn das Grundwasser nicht immer zur Trinkwasserversorgung verwendet wird, werden so die höchsten Anforderungen an die Wasserqualität zu Grunde gelegt. Die Schwellenwerte der Grundwasserverordnung des Bundes (GrwV [2]), auf deren Basis der chemische Zustand des Grundwasserkörpers gemäß Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL [3]) beurteilt wird, wird bei der nachfolgenden Bewertung der Belastungssituation in Nürnberg ebenfalls berücksichtigt. Oft entsprechen die Schwellenwerte den Werten der TrinkwV.

Weiter werden die Stufenwerte für Schadstoffparameter aus dem bisher zur Anwendung gekommenen Merkblatt 3.8/1 „Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer“ des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (Stand 31.10.2001 [4]) als einschlägig für die Einstufung der Grundwasserqualität herangezogen. Stufe-1-Wert bedeutet dabei, dass bei dessen Unterschreitung eine allenfalls geringfügige Grundwasserverunreinigung vorliegt, Stufe-2-Werte sind Entscheidungsgrundlage für die Gefährdungsabschätzung und das Sanierungserfordernis bei vorliegenden erheblichen Grundwasserverunreinigungen. Hinweis: eine Aktualisierung des Merkblattes erfolgte im August 2023 (vgl. Kapitel 1.1.8.2) und findet für die ausgewerteten Analysenergebnisse aus den Jahren zwischen 2017 und 2022 noch keine Anwendung.

Für die vorliegenden Auswertungen der Analysedaten werden über einen Zeitraum von sechs Jahren Mittelwerte je Parameter und je Brunnen/Messstelle (i.d.R. aus ein bis drei Messwerten) gebildet und u.a. in Form von Karten aufbereitet. Die Kartendarstellungen, im Wesentlichen für die Hauptschadstoffe, erfolgen in der Regel mittels Interpolationen, so dass eine flächige Gesamtübersicht möglich wird. Es werden dadurch Schwerpunktbereiche der nachgewiesenen Konzentrationen ermittelt und dargestellt. Durch den

Einsatz einer anderen Software sowie die Nacherfassung von Analysewerten können die Darstellungen im vorliegenden Bericht im Vergleich zu früheren Grundwasserberichten geringfügig abweichen.

Auf die Unterschiede bei der Anzahl der in den Auswertungen jeweils herangezogenen Brunnen- und Messstellenanalysen wurde bereits oben eingegangen. Das gewählte Vorgehen gewährleistet jedoch in jedem Betrachtungszeitraum ein weitgehend ähnliches Verteilungsmuster der Messstellen über das Stadtgebiet zu jedem Parameter und in jedem Betrachtungszeitraum.

Bei den Ergebnisdarstellungen und Erläuterungen zu den jeweiligen Hauptschadstoffen und Leitparametern werden ergänzend die Fallzahlen aus der Schadensfallbearbeitung angegeben (vgl. Kapitel 1.1.8.1). Eine Gesamtübersicht über die Erkenntnisse aus der Schadensfallbearbeitung wird in der Grundwasserbelastungskarte in Anlage 3 gegeben.

Folgender Hinweis ist mit Blick auf die Interpolierten Karten zur Grundwasserqualität zu beachten: Reale Messwerte liegen lediglich für die einzelnen Messpunkte vor. Das tatsächliche Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe kann durch die Interpolationen nicht wiedergegeben werden, da dieses sowohl von den jeweiligen Eigenschaften der Stoffgruppe als auch der hydrogeologischen Situation vor Ort abhängt. Somit bilden die interpolierten Flächen schadstoffbelastete Schwerpunktgebiete ab. Differenzierte, standortbezogenen Aussagen sind hieraus nicht möglich. Für einen Gesamtüberblick über die Grundwasserqualität im Stadtgebiet sind diese Darstellungen geeignet und hilfreich.

Parameter	Hinweis auf:
Hauptschadstoffe	
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	Verunreinigung durch Gewerbe / Industrie
Nitrat, Ammonium	Landwirtschaftlicher/gärtnerischer Einfluss
Pflanzenschutzmittel (PSM)	Landwirtschaftlicher/gärtnerischer Einfluss
PFAS	Industrie und Gewerbe (Einsatz bei z.B. Kosmetika, Kochgeschirr, Papierbeschichtungen, Fastfood-Verpackungen, Textilien, etc.); Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen; mögl. Eintrag durch Klärschlamm, aus Feuerlöschmitteln
Weitere Leitparameter für die urbane Wasserqualität	
Kurzkettige Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX);	Verunreinigung durch Gewerbe / Industrie
Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Abbrandrückstände, Gaswerke und Kokereien
Halb- und Schwermetalle: Chrom, Blei, Cadmium, Arsen und Quecksilber	Verunreinigung durch metallverarbeitende Industrie, zum Teil geogen (Arsen)
pH-Wert, Leitfähigkeit	Allgemeine Charakterisierung des Grundwassers
Chlorid	Einträge vorwiegend durch Streusalz; auch durch Deponien/künstlichen Auffüllungen, ggf. punktuelle Abwassereinleitungen, untergeordnet Düngemitteleinträge; selten geogen im Stadtgebiet
Eisen, Mangan	Gefahr der Verockerung von Brunnen und geothermischen Anlagen – überwiegend geogen

Tabelle 1: Übersicht der Hauptschadstoffe und Leitparameter *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

1.1.2 Grundwasserbelastungssituation – Hauptschadstoffe und Leitparameter

LHKW

Bei der Stoffgruppe der leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) handelt es sich um kettenförmige Kohlenstoffverbindungen, welche v.a. in der Vergangenheit in großen Mengen insbesondere als Lösungsmittel zur Reinigung von Metallen und Textilien in entsprechenden Industriezweigen Verwendung fanden. Sie zeichnen sich durch den Einbau mindestens eines Halogen-Atoms aus und weisen, einmal als Verunreinigungen in die Umwelt gelangt, eine außerordentliche Persistenz und Mobilität auf. Aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften können sich in Gesteinsklüften und in der Bodenmatrix Depots bilden, die dazu führen, dass auch lange nach dem Zeitpunkt der Verunreinigung noch LHKW an das Grundwasser abgegeben werden. LHKW wirken akut toxisch, z.T. karzinogen und erbgutverändernd [5].

Größere Belastungsbereiche finden sich in Nürnberg vorwiegend in der stark gewerblich und industriell geprägten Südstadt. Dabei werden im Untersuchungszeitraum teilweise auch Konzentrationen von über 1000 µg/l nachgewiesen. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) bezieht sich auf die Summe zweier maßgeblicher Einzelparameter, Trichlorethen (Tri) und Tetrachlorethen (Per), und liegt bei 10 µg/l, ebenso der Schwellenwert der GrwV. Dieser Summenparameter wird deshalb auch für die Auswertungen der LHKW in den Grundwasserberichten herangezogen. Die beiden Einzelstoffe sind nach wie vor die Hauptkomponenten bei LHKW-Schäden. Zudem kann mit diesem Summenparameter eine Vergleichbarkeit mit zurückliegenden Zeiträumen gewährleistet werden. Es gilt jedoch zu ergänzen, dass inzwischen auch die Zahl der Schadensfälle mit den Abbauprodukten cis-1,2-Dichlorethen (CDE) und Vinychlorid (VC, Monochlorethen) als Hauptkomponenten zunimmt.

Bezüglich der Ausbreitung von LHKW im Grundwasserkörper ist zu beachten, dass sich in der Regel, ausgehend von punktuellen Schadensfällen, schmale Ausbreitungsfahnen in Grundwasserfließrichtung bilden. Sie weisen teilweise eine Breite von lediglich 10 m auf, können jedoch eine beträchtliche Länge erreichen. Eine flächenhafte Ausbreitung ist bei LHKW-Schadensfällen somit i.d.R. nicht gegeben. Dies gilt es mit Blick auf die interpolierten Kartendarstellungen, Karte 1 und 2, zu beachten. In den Karten 3 und 4 sind die Analysendaten als gewichtete Punktdarstellungen verbildlicht. Die Verbreitung der Vorkommen von Verunreinigungen im Stadtgebiet geht letztlich auf den intensiven Einsatz als Reinigungs-, Extraktions- und Lösemittel im Zeitraum der 50er bis 80er Jahre des 20. Jahrhunderts zurück. Diese Schadstoffe sind in ca. 61 % der Messstellen im Qualitätsmessnetz zu finden, in knapp 24 % liegen Überschreitungen des Stufe-1-Wertes [4] und des Grenzwertes der TrinkwV von 10 µg/l vor.

Insgesamt hat sich das Bild der Belastungszonen im Stadtgebiet im Vergleich der Zeiträume 2011 bis 2016 und 2017 bis 2022 nicht nennenswert verändert. Dies war angesichts der Nutzungshistorie in Nürnberg auch nicht zu erwarten. Aufgrund der genannten Depot-Wirkung können sich die bekannten Belastungen über sehr lange Zeiträume auswirken. Mittels Sanierungen werden zwar z.T. bereits seit Jahrzehnten erhebliche Schadstoffmengen aus dem Grundwasser entfernt. Die im Rahmen der Altlastensanierung stattfindende Reduzierung der Belastungen von oftmals mehreren 10.000 µg/l auf niedrige dreistellige Konzentrationen sind jedoch bei einer großmaßstäbigen Betrachtung über das Gesamtstadtgebiet graphisch kaum darstellbar. Diese Standorte werden in der Übersichtskarte den Belastungsklassen > 100 µg/l zugeordnet. Im Nürnberger Nordwesten sind dennoch Verbesserungen im Hinblick auf die Höhe der Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser sichtbar. Im Bereich der Südstadt konnte ein vormals stark belasteter Brunnen aufgrund Brunnenrückbaus nicht mehr im Messprogramm berücksichtigt werden. Abgesehen davon sind auch in diesem Umfeld Rückgänge der Schadstoffkonzentrationen feststellbar. Demgegenüber sind in den Industriegebieten im Nürnberger Südwesten kaum Veränderungen zu erkennen. Im Nordosten ist eine Mehrung der Belastungsbereiche durch hinzugekommene Messstellen mit erhöhten LHKW-Konzentrationen augenfällig.

Die Entwicklung der qualitativen Belastungssituation seit 1995 ist in Diagramm 1 dargestellt. Als erfreulich ist zu nennen, dass in den letzten 25 Jahren die Brunnenanzahl mit Überschreitungen des zum Zeitpunkt der Berichterstellung gültigen Stufe-2-Wertes (40 µg/l – Prüfwert für den Sanierungsbedarf [4]) von über 40 Messstellen im Zeitraum 1995 – 1999 (28 % der Messstellen, vgl. Diagramm 1) auf inzwischen 22 (10 %) zurückgegangen ist. Gleichwohl finden sich nach wie vor noch Brunnen mit sehr hohen Belastungen von z.T. über 1.000 µg/l.

Der LHKW-Parameter Vinychlorid (VC, Monochlorethen), kommt im Grundwasser oft als Abbauprodukt vor und ist kanzerogen. Er wurde hier separat ausgewertet. Bei den verfügbaren Daten aus dem Qualitätsmessnetz sind im Zeitraum 2017 – 2022 vermehrt Überschreitungen des TrinkWV-Grenzwertes von 0,5 µg/l festzustellen. Knapp 18 % der Messstellen mit VC-Analysen weisen entsprechend erhöhte Werte auf.

Aktuell werden an 34 Standorten LHKW-Sanierungen durchgeführt oder sind erforderlich, 39 weitere Sanierungsmaßnahmen konnten zwischenzeitlich abgeschlossen wer-

den (vgl. Anlage 3). Auffällige LHKW-Werte wurden bei 13 Bauwasserhaltungen, 8 Notwasserbrunnen und 8 Betriebsbrunnen festgestellt. Sofern Grundwassernutzungen in Bereichen mit relevanten Schadstoffkonzentrationen (gelbe Markierung in Anlage 3) stattfinden, werden die entsprechenden Anträge im Verfahren vertieft hinsichtlich der Belastungssituation überprüft und in der wasserrechtlichen Erlaubnis i.d.R. Beweissicherungsuntersuchungen und/oder Abreinigungsmaßnahmen gefordert.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Bemühungen zur Eindämmung der LHKW-Problematik Erfolge zeigen. Da die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen im Nürnberger Untergrund, mit ausgeprägten Tonhorizonten (sog. Zwischenletten) und überwiegenden Kluftgrundwasserleitern, eine hydraulische Sanierung deutlich erschweren und sich die LHKW aus meist länger zurückliegenden Einträgen oft hartnäckig im Untergrund halten, ist weiterhin mit einem anhaltenden Bedarf der Altlastenbearbeitung mit dieser Schadstoffgruppe zu rechnen. Dabei soll in Zukunft im Rahmen des gesamtstädtischen Grundwassermonitorings auch ein verstärktes Augenmerk auf die hydrologischen Milieubedingungen zur Förderung eines biologischen LHKW-Abbaus gelegt werden.

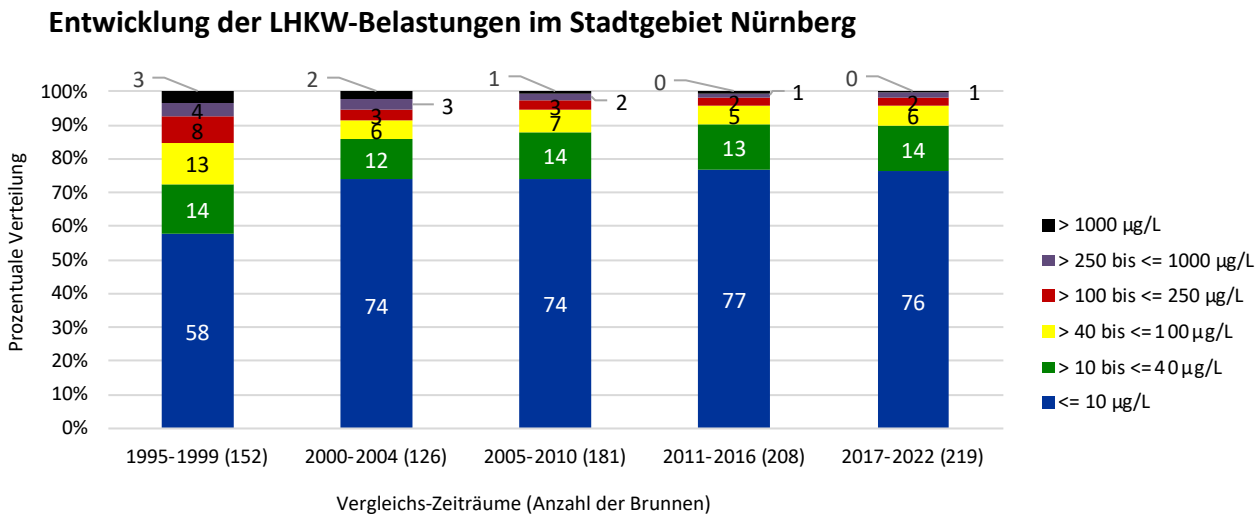


Diagramm 1: Prozentuale Verteilung von LHKW-Gehalten in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes in verschiedenen Zeiträumen *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Nitrat und Ammonium

Höhere Konzentrationen an Stickstoffverbindungen findet man häufig, aber nicht nur, in den intensiv landwirtschaftlich genutzten Bereichen des Knoblauchslandes im Norden des Stadtgebietes. In geringerer Dimension sind auch bei den im Nürnberger Süden gelegenen Agrarflächen erhöhte Gehalte im Grundwasser nachgewiesen. Gleichfalls sind Bereiche mit anderweitigen gärtnerischen Nutzungen im Stadtgebiet von Nitratbelastungen im Grundwasser betroffen. Ursache ist jeweils der Einsatz von Mineraldünger oder Gülle. Des Weiteren kann es auch in geringerem Umfang zu Einträgen aus defekten Abwasserleitungen oder Altablagerungen kommen [6].

Die Hauptrolle unter den Stickstoffverbindungen spielt in Bezug auf das Grundwasser das Nitrat. Der Grenzwert der TrinkwV liegt bei 50 mg/l. Dieser dient auch als Schwellenwert der GrwV.

Die Auswertungen und graphischen Darstellungen orientieren sich, im Gegensatz zu früheren Grundwasserberichten, an der Kategorieneinteilung des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg (vgl. Kapitel 1.1.4), um eine bessere und einfachere Vergleichbarkeit zwischen den Beiträgen im Rahmen des aktuellen Berichtes zu gewährleisten. Als unterster Wert der Einteilung wird nunmehr der Grenz-/Schwellenwert von TrinkwV/GrwV gewählt und es sind weitere Zwischenstufen eingefügt.

Die Auswertungsergebnisse für Nitrat für die beiden Vergleichszeiträume 2011 – 2016 und 2017 – 2022 sind in Diagramm 2 sowie Karten 5 und 6 dargestellt. Bei einem Vergleich der Karten fällt eine Verdichtung der Messwerte im Nürnberger Norden auf, die aus dem Sondermessprogramm des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg (vgl. Kapitel 1.1.4) resultieren und hier die flächenhafte Nitrat-Problematik in den Gebieten traditioneller intensiver agrarischer Nutzung detaillierter darstellt. Die fraglichen Bereiche können so besser abgegrenzt und genauer definiert werden. Auch im gesamten Stadtgebiet standen für die Auswertung der Nitratbelastung deutlich mehr Messwerte zur Verfügung, da in 2018 die Parameterliste für Betriebsbrunnen aktualisiert und einige Parameter neu in die standardmäßige Beprobung aufgenommen wurden, u.a. der Parameter Nitrat.

Insgesamt zeigen sich im zeitlichen Verlauf sowohl in den Karten als auch im Zeitreihendiagramm (vgl. Diagramm 2) die Gebiete mit hohen Belastungen wie auch deren Belastungsniveau konstant. Eine nennenswerte Verbesserung ist noch nicht erkennbar. Die bisherigen Anstrengungen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen, etwa eine bedarfsgerechte Düngung, zeigen bislang noch keine deutlich erkennbare Wirkung im chemischen Zustand des Grundwassers. Weitere Informationen finden sich in den Kapiteln 1.1.4 bis 1.1.7. Bei der Betrachtung der Entwicklungen von nicht bis gering belasteten Bereichen (vgl. Diagramm 2) zeigt sich jedoch, dass sich der seit 2004 erkennbare positive Trend zur Zunahme von Brunnen mit <50mg/l Nitratgehalt weiter verfestigt. 72% der Messstellen unterschreiten zwischenzeitlich den Schwellenwert der TrinkwV/GrwV.

Unter reduzierenden Verhältnissen, d.h. bei sauerstoffarmen Bedingungen im Grundwasser, tritt Stickstoff in Form von Ammoniumverbindungen auf. Aufgrund der hohen Wasserlöslichkeit dieser Verbindungen, kommt es hierbei in der Regel zu einer schnellen Verdünnung innerhalb des Wasserkörpers. Der Grenzwert der TrinkwV und der Schwellenwert der GrwV von 0,5 mg/l Ammonium wird im Zeitraum 2017 – 2022 an drei Messstellen überschritten, im Bereich des Klärwerks, an einem Notbrunnen im östlichen Stadtgraben sowie einmal im Knoblauchsland.

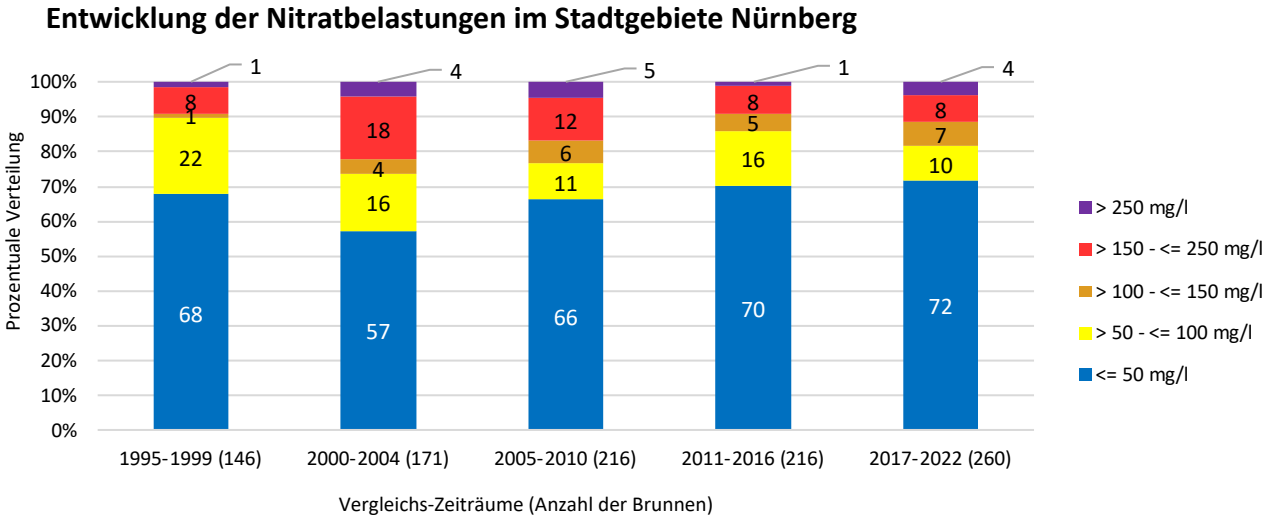
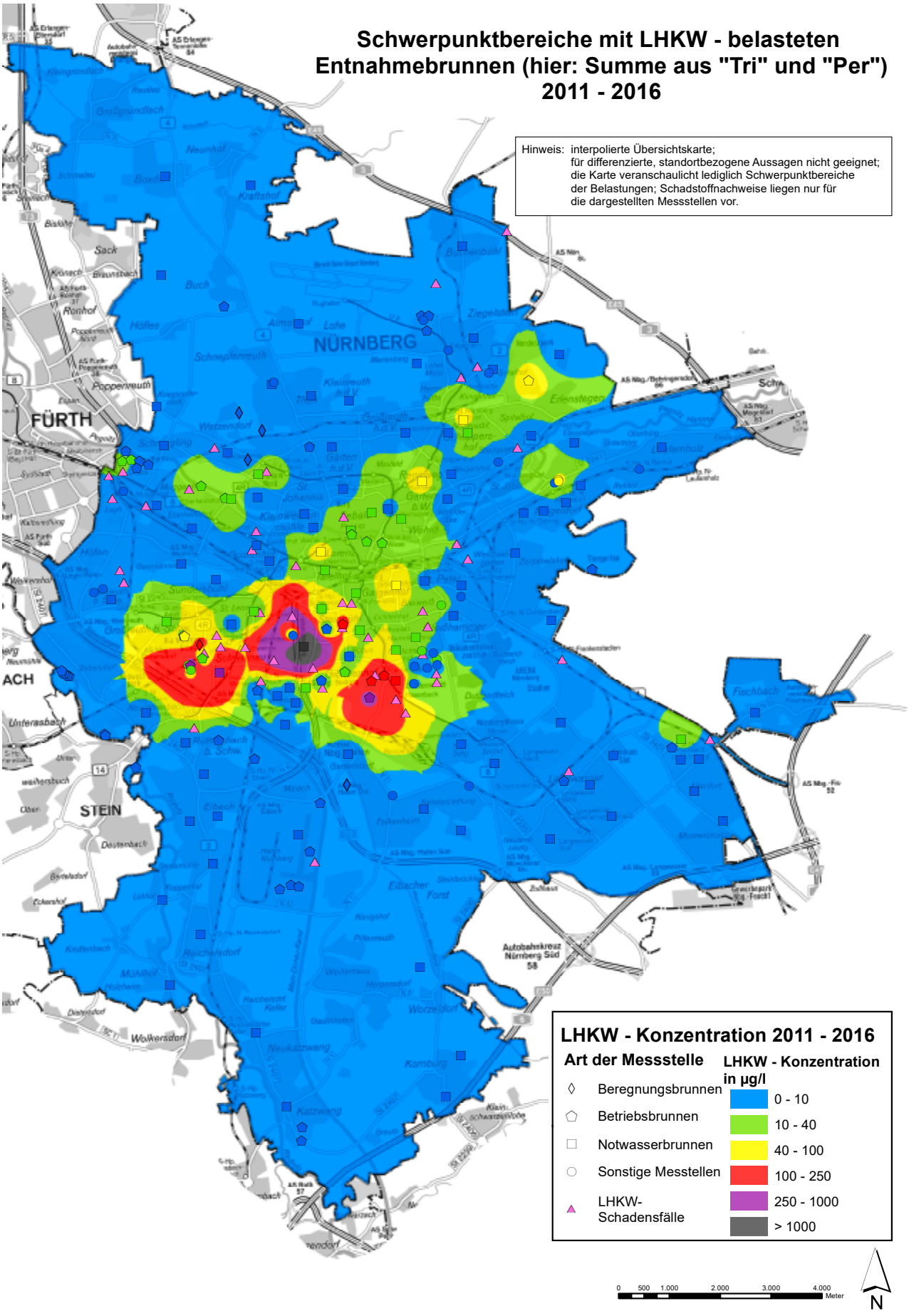
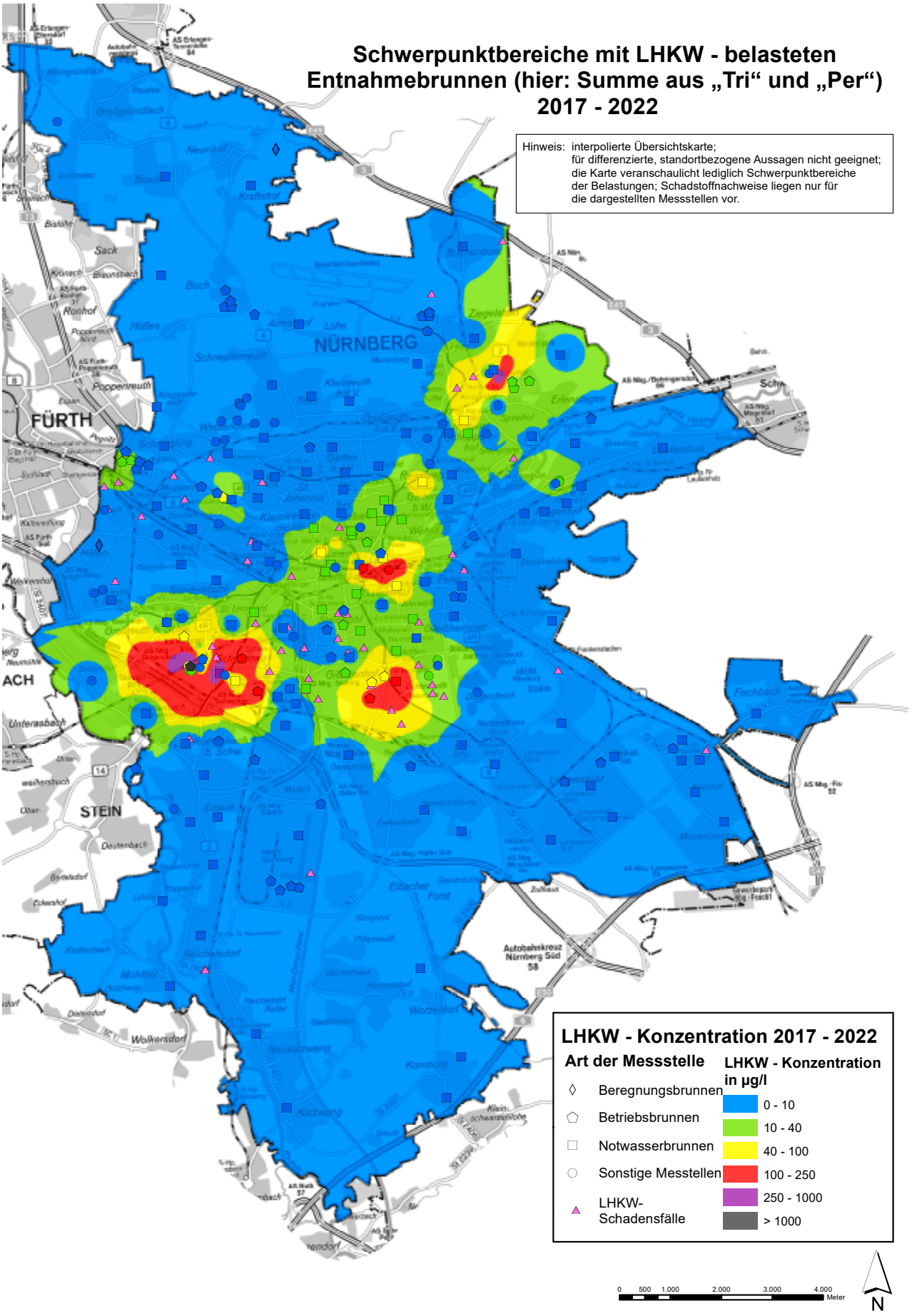


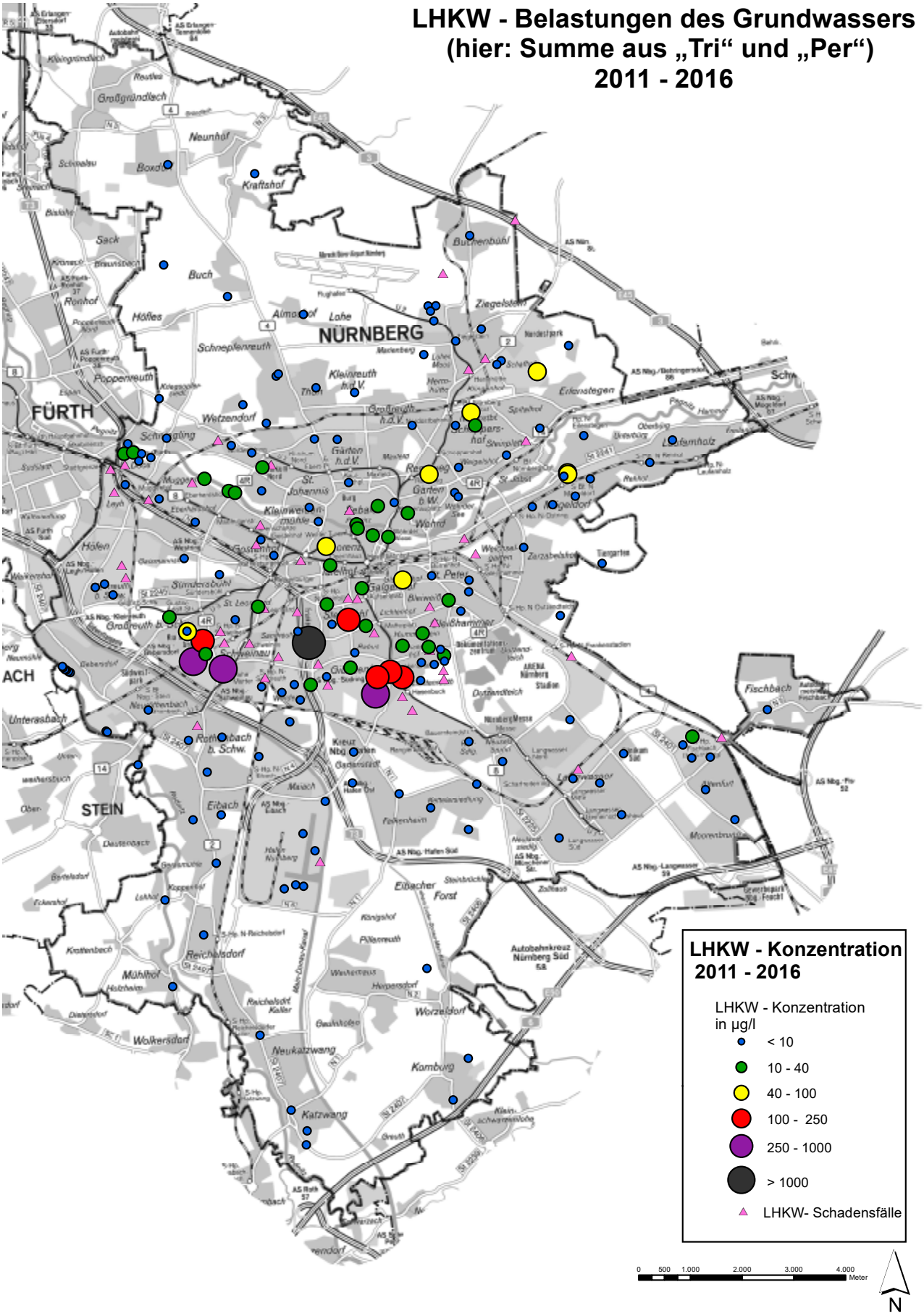
Diagramm 2: Prozentuale Verteilung von Nitrat-Gehalten in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes in verschiedenen Zeiträumen *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



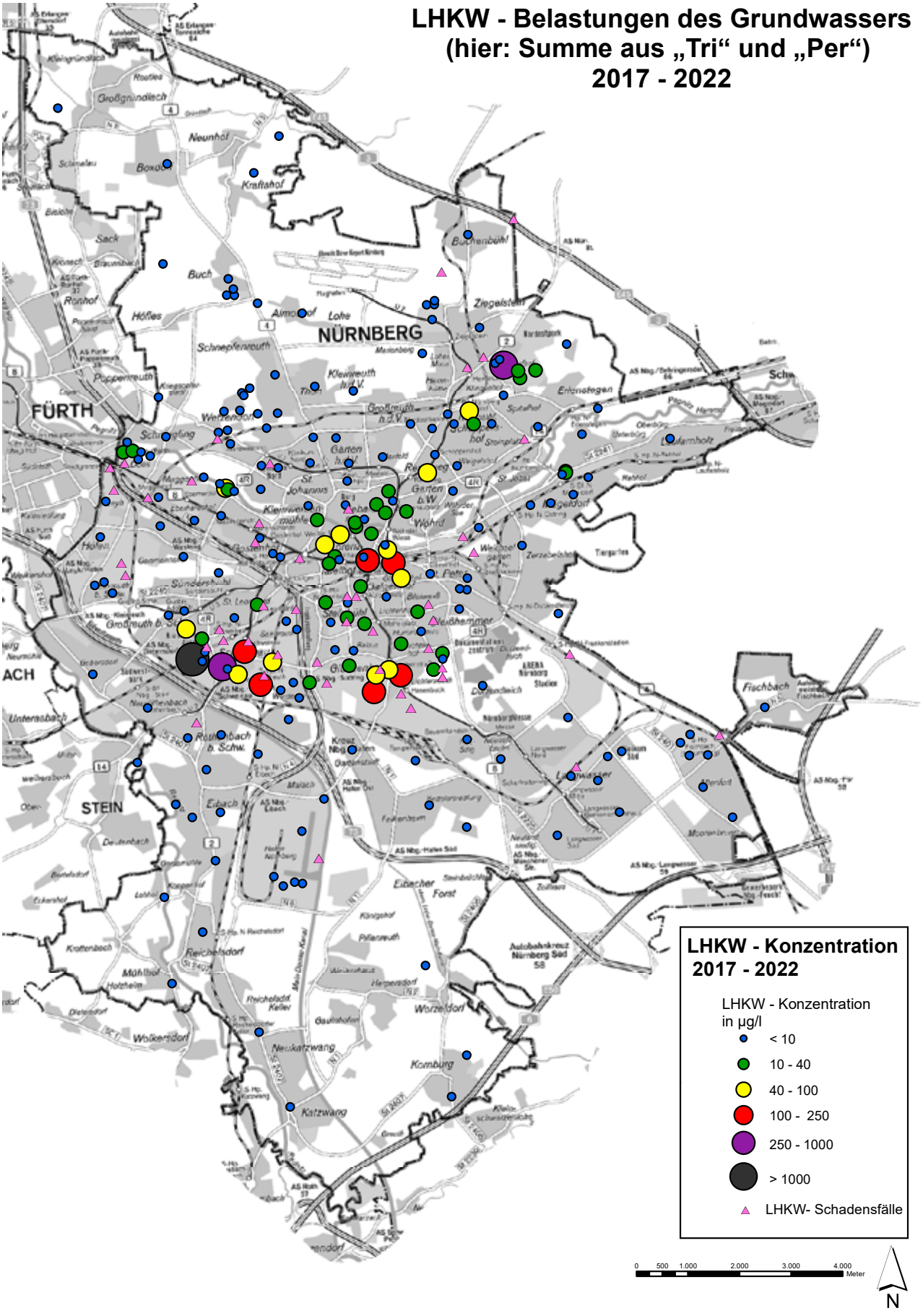
Karte 1: Schwerpunktbereiche mit LHKW-belasteten Entnahmebrunnen und Messstellen (hier: Summe aus „Tri“ und „Per“) im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



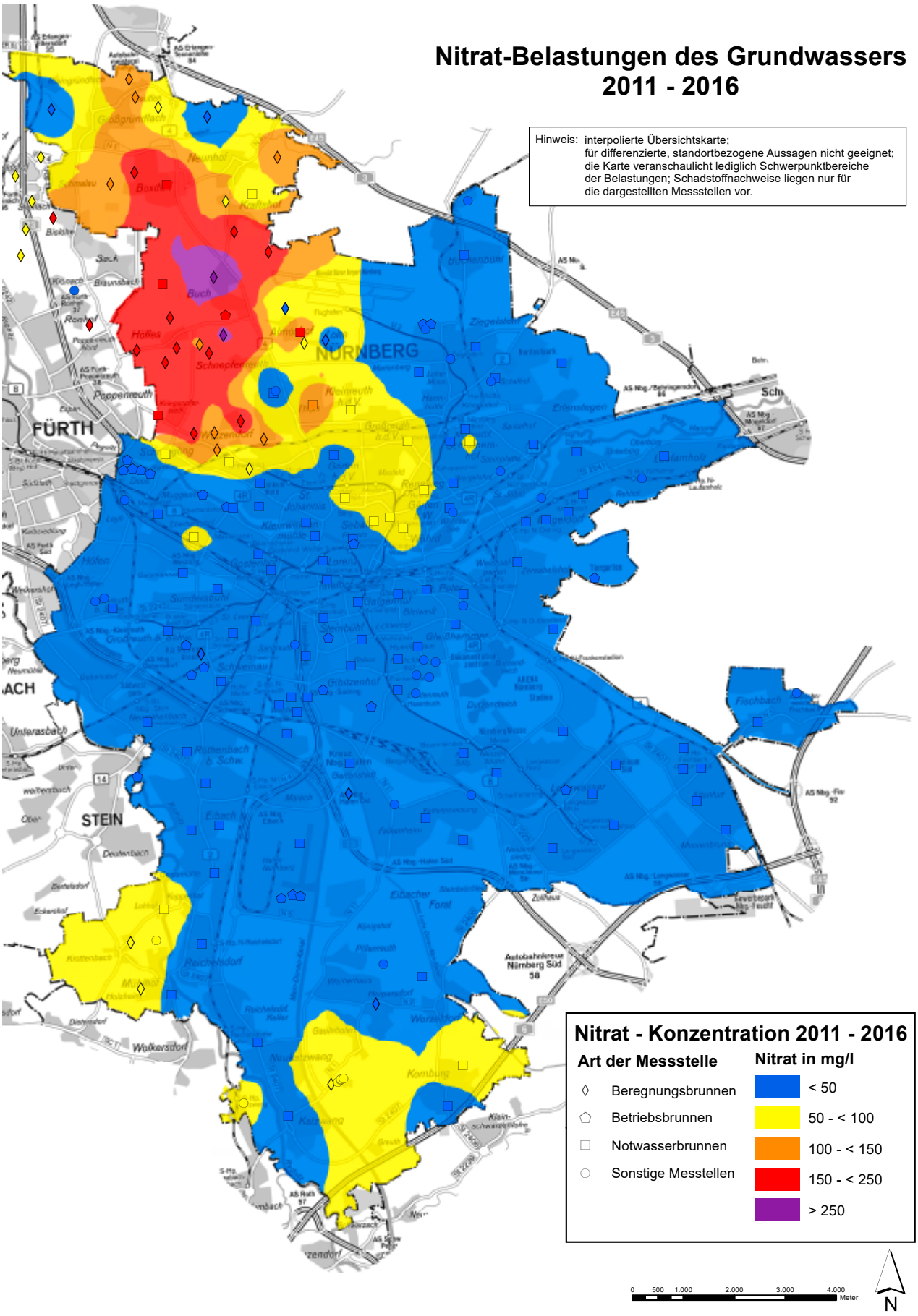
Karte 2: Schwerpunktbereiche mit LHKW-belasteten Entnahmebrunnen und Messstellen (hier: Summe aus „Tri“ und „Per“) im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



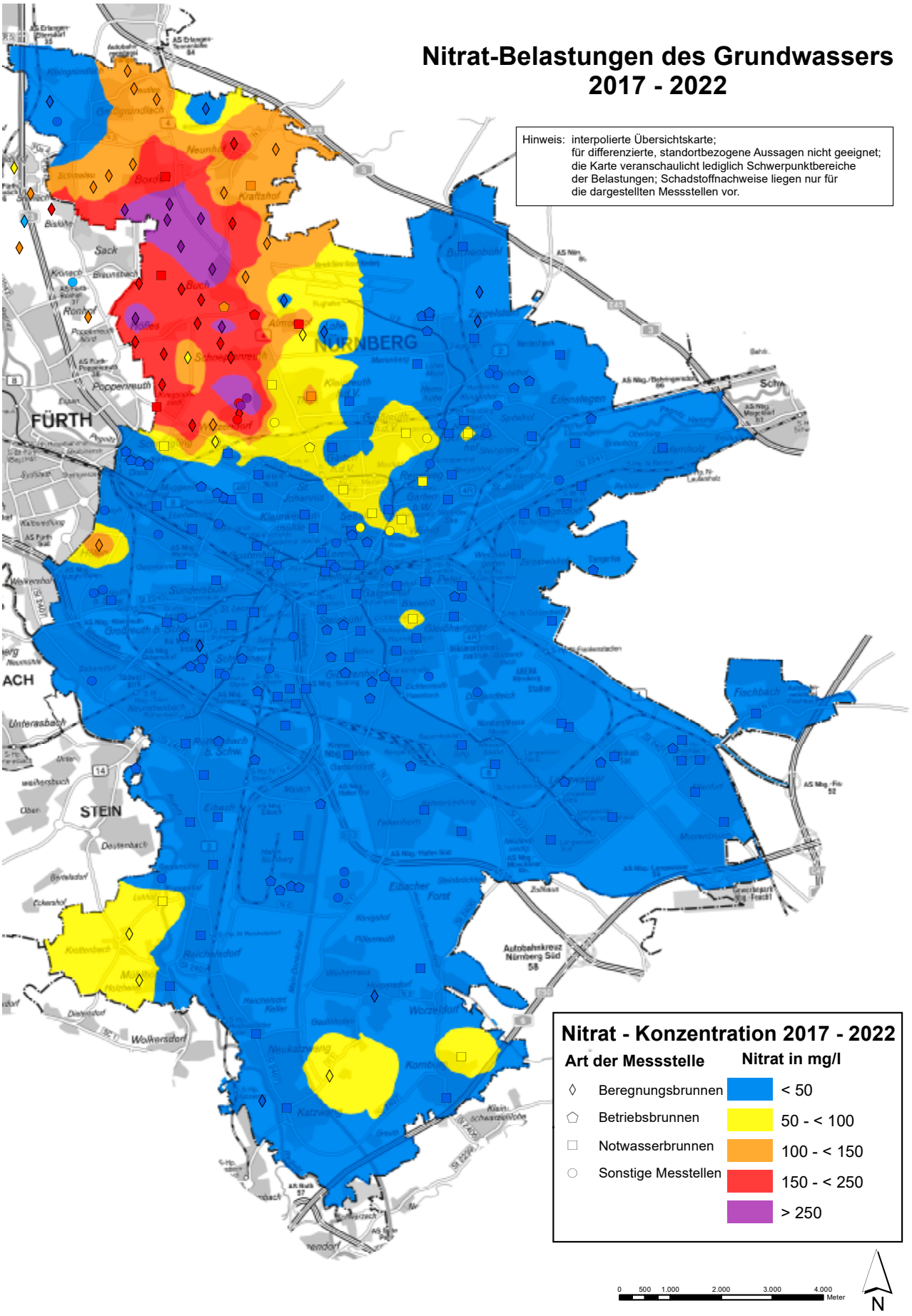
Karte 3: LHKW-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



Karte 4: LHKW-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



Karte 5: Nitratkonzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



Karte 6: Nitratkonzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Pflanzenschutzmittel (PSM)

Bei dem Parameter Pflanzenschutzmittel (PSM) handelt es sich um einen Summenparameter, der sich aus einer Vielzahl von Einzelparametern aus den vielen verschiedenen Pflanzenschutzprodukten und deren Abbauprodukten (relevante Metabolite) zusammensetzt (vgl. hierzu auch Kapitel 1.1.4). Die Messergebnisse der jeweils in der Wasserprobe analysierten Einzelstoffe werden zu einem Gesamtwert aufsummiert. Im Berichtsjahreszeitraum 2017 bis 2022 wird der Summenparameter meist aus bis zu 130 Einzelstoffen gebildet. Der Grenzwert gemäß TrinkwV und Schwellenwert gemäß GrwV beträgt für die Summe der Pflanzenschutzmittel 0,5 µg/l. In der Vergangenheit wurden in der Regel weniger Einzelparameter erhoben.

Des Weiteren konnte im Zeitraum 2017 bis 2022 die Messstellendichte für den Parameter PSM deutlich erhöht werden. So wird seit 2018 bei Betriebsbrunnen alle 6 Jahre das Rohwasser auf das Spektrum der Pflanzenschutzmittel untersucht und im Bereich des Knoblauchslandes fand ein Sonderuntersuchungsprogramm des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg statt (vgl. Kapitel 1.1.4). Beide Aspekte tragen zu einem wesentlich besseren flächenhaften Belastungsbild bei.

Für den jeweiligen Einzelparameter geben TrinkwV und GrwV einen Grenz- bzw. Schwellenwert von 0,1 µg/l vor. Die vorliegende Auswertung der Entwicklung der Belastungssituation mit Pflanzenschutzmitteln für das gesamte Stadtgebiet wird in der Hauptsache auf den Summenparameter abgestellt. Ein Grund dafür ist, dass in den früheren Vergleichszeiträumen ausschließlich das Ergebnis der PSM-Summe registriert wurde. Im vorliegenden Bericht können nun Messwertüberschreitungen von Einzelstoffen für die letzten beiden Vergleichszeiträume in den Karten 7 und 8 ergänzend dargestellt werden.

Aufgrund des deutlich erweiterten Untersuchungsspektrum der Einzelparameter und der deutlichen Erhöhung der Messstellendichte im Zeitraum 2017 bis 2022 ist eine Vergleichbarkeit mit den Auswertungen aus zurückliegenden Zeiträumen nur bedingt möglich. Dies wird auch durch die Trennlinie in Diagramm 3 zwischen den Zeiträumen 2011 – 2016 und 2017 – 2022 verdeutlicht.

In den Karten 7 und 8 sind die flächenhaften Interpolationen der gemessenen PSM-Summenkonzentrationen für die Zeiträume 2011 – 2016 und 2017 – 2022 zum Vergleich grafisch dargestellt. Dabei ist erkennbar, dass sich hinsichtlich der Verteilung der Belastungen kaum nennenswerte Veränderungen ergeben haben.

Die Belastungssituation im Knoblauchsland wird in Kapitel 1.1.4 ausführlich beschrieben.

Auch im restlichen Stadtgebiet ist die Belastungssituation deutlicher als bisher zu erkennen. So fallen die Bereiche Hummelstein/Lichtenreuth, Schweinau und im Südwesten Eibach und Krottenbach auf. Außerdem ist im Nordwesten, zwischen Schoppershof und Schafhof ein Ballungsgebiet höherer Analysenwerte festzustellen. Vielfach finden sich die höheren Belastungen in Notwasserbrunnen, die im Bereich öffentlicher Grünflächen, teilweise auch in landwirtschaftlich genutzten Gebieten liegen. Auch einige Industriebrunnen weisen höhere Messwerte auf. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in diesen städtischen Bereichen kann nicht unmittelbar bestimmten Nutzungen zugeordnet werden. Ein Problem stellt die Persistenz (Langlebigkeit) dieser Stoffe in der Umwelt dar.

Festzuhalten ist an dieser Stelle, dass die Stadt Nürnberg gemäß eines Beschlusses im Umweltausschuss bereits seit Mitte 1989 konsequent keine Pestizide mehr anwendet, auch nicht gegen den Eichenprozessionsspinner.

Sowohl aktuell genutzte wie auch ehemalige Bahnflächen werden bzw. wurden regelmäßig mittels Pestizideinsatz von sogenannten Beikräutern freigehalten. Hierzu gilt es anzumerken, dass die Deutsche Bahn im März 2023 [7] entschieden hat, zukünftig auf Pestizide, und insbesondere den Einsatz von Glyphosat, zu verzichten. Stattdessen soll ein sogenanntes „nachhaltiges Vegetationsmanagement", bestehend aus einer digitalen Vegetationskontrolle, dem Einsatz mechanisch-manueller Verfahren sowie der Nutzung von umweltschonender Pelargonsäure, eingeführt werden.

Im Vergleich mit den Analysendaten des Zeitraums 2011 – 2016 scheint es für 2017 – 2022 stellenweise nun insgesamt eine negative Entwicklung bei der PSM-Belastungssituation zu geben (vgl. Diagramm 3). Doch ist die Vergleichbarkeit aus vorgenannten Gründen nicht unmittelbar gegeben, vielmehr hat sich im Zeitraum 2017 – 2022 die Erkenntnislage wesentlich verbessert. Dennoch ist festzustellen, dass der ursprüngliche gesamtstädtische Trend abnehmender Belastungen aus den vorhergehenden Vergleichszeiträumen für 2017 – 2022 nicht bestätigt werden kann. Es ist u.a. eine deutliche prozentuale Zunahme an Messstellen zu verzeichnen, an denen der TrinkwV-/GrwV- Grenz-/Schwellenwert nicht eingehalten wird. Dieser Anteil liegt inzwischen wieder bei sieben Prozent.

Bei der Auswertung der Messwertüberschreitung von Einzelparametern fällt sowohl für den Zeitraum 2011 – 2016, wie auch für 2017 – 2022 auf, dass bei den meisten Überschreitungen des Summenwertes von TrinkwV/GrwV auch zumindest ein Einzelwert über dem Grenzwert von 0,1 µg/l liegt. Einzelwertüberschreitungen sind jedoch auch bei Messstellen zu verzeichnen, bei denen der Summengrenzwert eingehalten wird.

In der Gesamtbetrachtung der PSM-Überschreitungen, d.h. sowohl der Summen- als auch der Einzelparameter, wurden im Zeitraum 2017 – 2022 bei insgesamt 17% der Messstellen im Stadtgebiet Grenzwerte für Pflanzenschutzmittel überschritten, im Zeitraum 2011 – 2016 waren dies 13%.

In der Einzelbetrachtung des Wirkstoffes Glyphosat und seines Metaboliten AMPA kann festgestellt werden, dass lediglich an einem Standort im Südwesten von Nürnberg Überschreitungen des TrinkwV-Grenzwertes für Einzelstoffe bei beiden Parametern vorliegt.

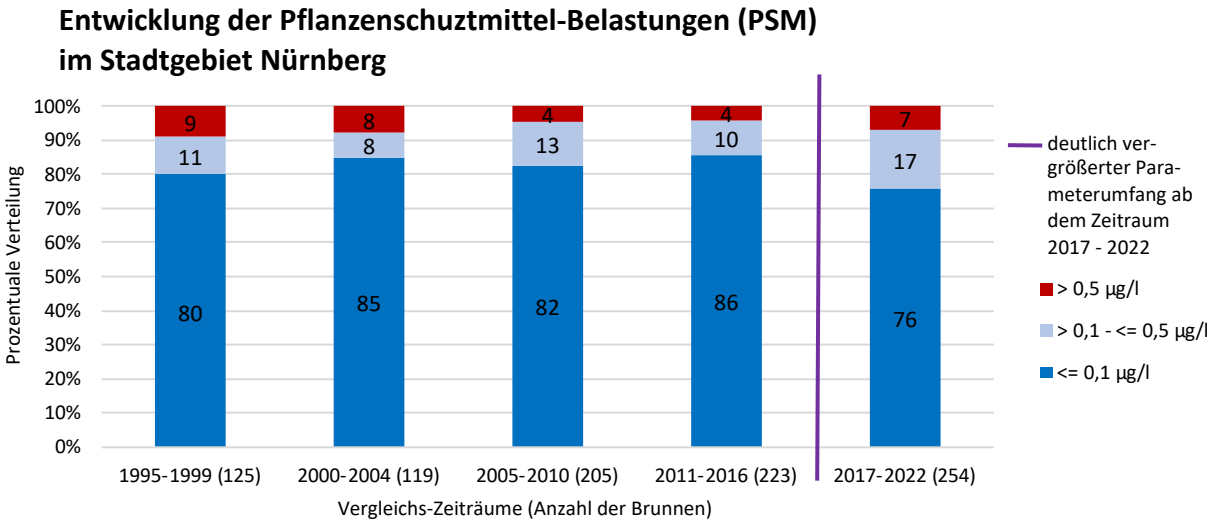
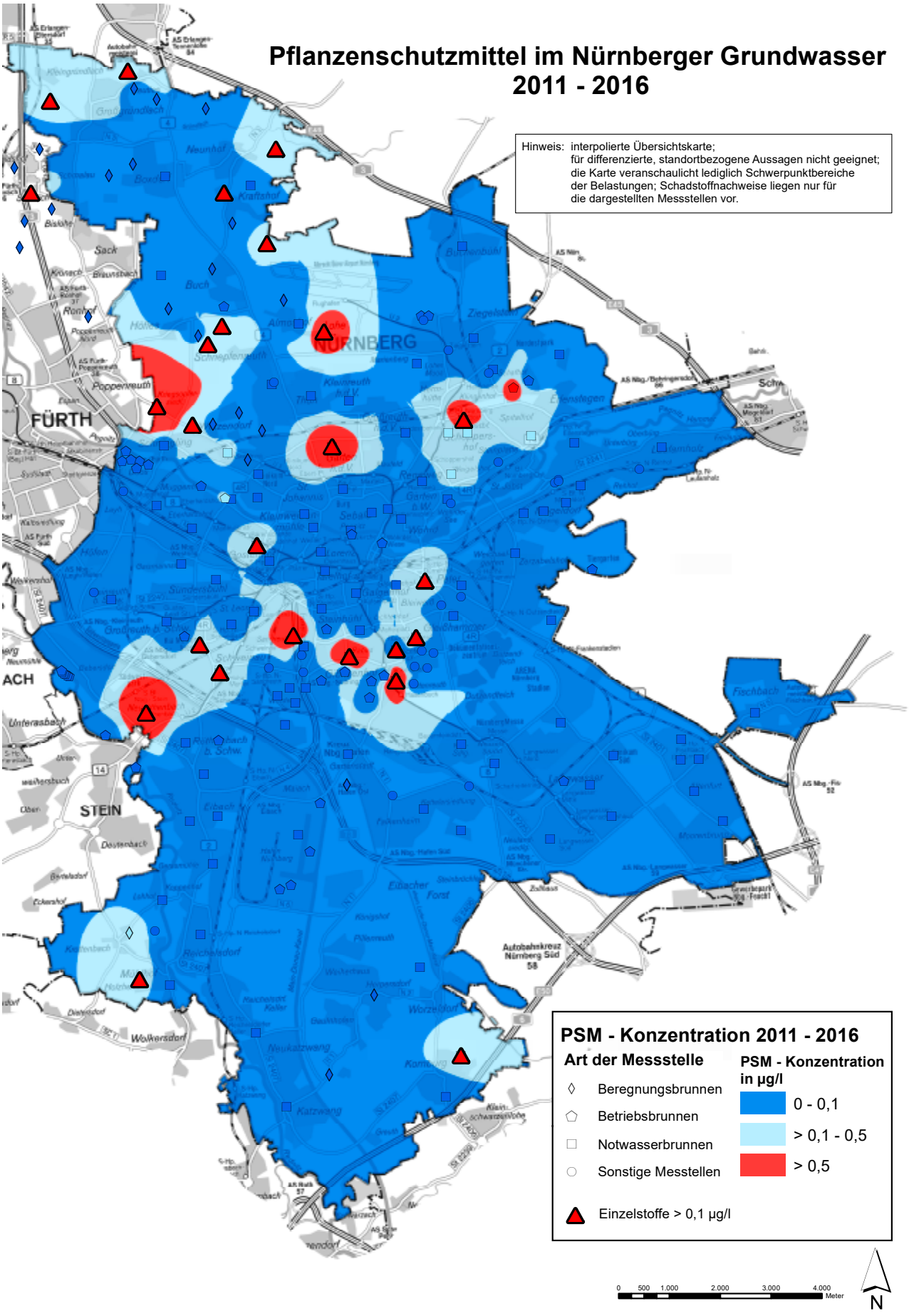
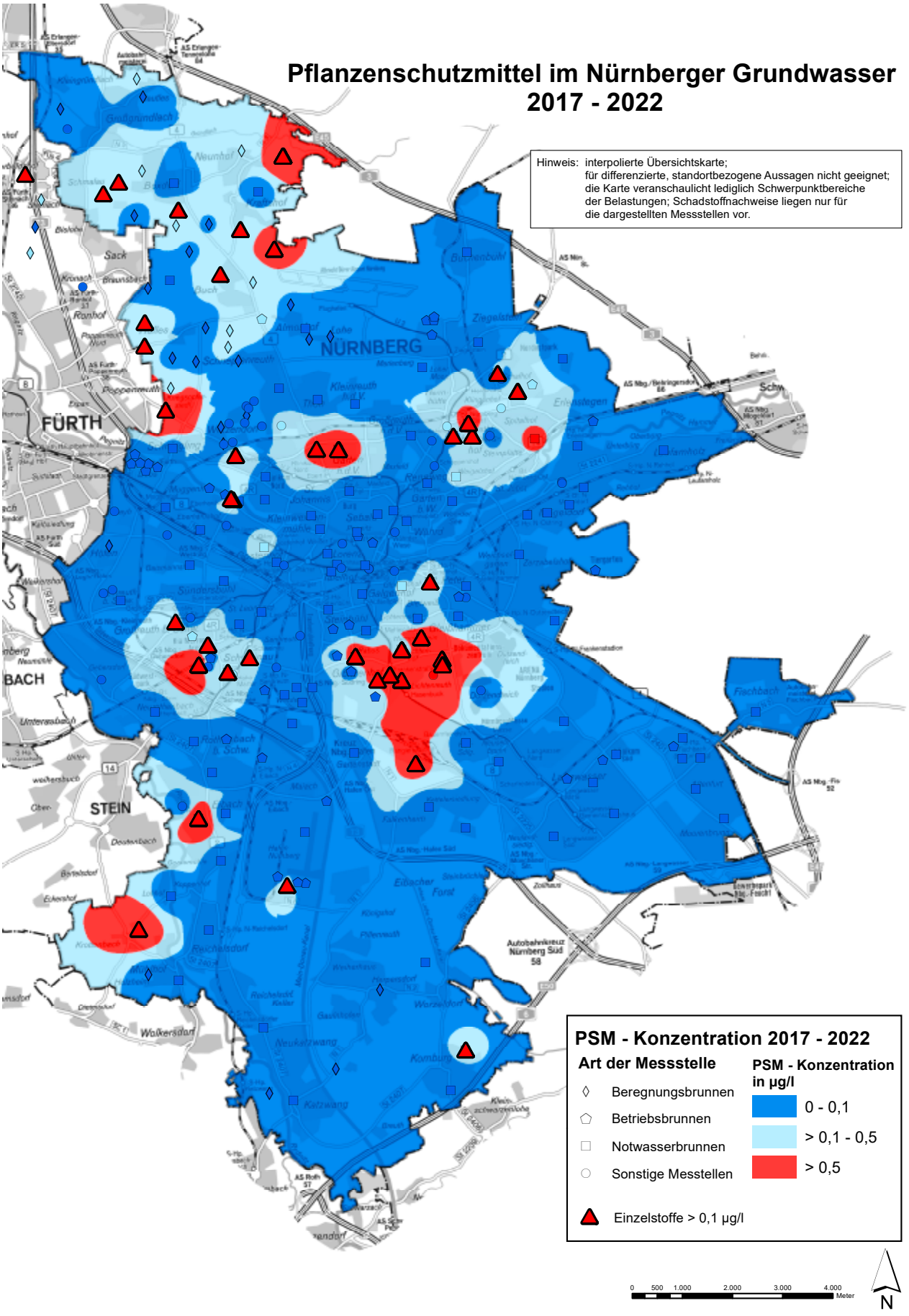


Diagramm 3: Prozentuale Verteilung von PSM-Summen-Gehalten in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätmessnetzes in verschiedenen Zeiträumen *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



Karte 7: Pflanzenschutzmittel-Konzentration im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



Karte 8: Pflanzenschutzmittel-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

BTEX und PAK

Die Schadstoffgruppe der monozyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe, v.a. bestehend aus den Parametern Benzol, Toluol, Ethylbenzolen und Xylolen aber auch weiteren Einzelstoffen, firmiert unter der Abkürzung BTEX. Die Einsatzbereiche dieser Stoffe finden sich vorwiegend bei Kraftstoffen sowie als Löse- und Entfettungsmittel. Betrachtet wird i.d.R. der Summenwert, also der Gesamtgehalt an BTEX im Grundwasser. Für den aus toxikologischer Sicht am kritischsten einzustufenden Einzelparameter Benzol existiert nach TrinkwV ein Grenzwert von 0,001 mg/l (entspricht 1 µg/l), der nicht überschritten werden darf. Hierbei handelt es sich gleichzeitig auch um den Stufe-1-Wert nach bisher geltendem LfW-Merkblatt 3.8/1 [4]. Die Untersuchungen im Rahmen des Grundwassermonitoringprogramms zeigen auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Analysedaten im Stadtgebiet diesbezüglich keine Auffälligkeiten.

Punktuelle Einzelbelastungen gibt es jedoch. So befinden sich im Stadtgebiet Nürnberg derzeit 6 Standorte in der Schadensfallbearbeitung mit einer laufenden bzw. erforderlichen BTEX-Sanierung. Bei 15 weiteren Schadensfällen konnten Sanierungsmaßnahmen abgeschlossen werden. An 23 Standorten wurden Grundwassererkundungs- bzw. –monitoringmaßnahmen durchgeführt, von denen 8 relevante Konzentrationen aufwiesen. Zudem gab es zwei entsprechend auffällige Bauwasserhaltungen.

Zur Stoffgruppe der PAK gehören Verbindungen, die aus zwei bis sieben Kohlenwasserstoff-Ringen aufgebaut sind. Sie entstehen, wenn organisches Material (z.B. Holz, Kohle oder Öl) unvollständig verbrennt – wie es etwa bei Verbrennungsrückständen und Rauchgasemissionen von Gaswerken oder Kokereien der Fall ist. In der Regel sind PAK fest in der Bodenmatrix gebunden und werden daher normalerweise nicht in größeren Mengen in das Grundwasser verlagert. Durch die Vergesellschaftung mit BTEX kann es jedoch, aufgrund deren Wirkung als Lösungsvermittler, zu einer Mobilisierung von PAK kommen. An sechs Messstellen des Grundwasserqualitäts-Überwachungsmessnetzes wird der TrinkwV-Grenzwert für PAK von 0,1 µg/l überschritten. Darunter kommt es zudem an zwei Standorten zu einer Überschreitung des Stufe-1-Wertes des bisher gültigen LfW-Merkblattes 3.8/1 [4] von 0,2 µg/l.

Im Rahmen der Schadensfallbearbeitung werden aktuell insgesamt 5 PAK-Grundwassersanierungen durchgeführt, vier Bauwasserhaltungen wiesen auffällige PAK-Konzentrationen auf. Des Weiteren wurde an 11 Standorten jeweils eine Grundwassererkundung bzw. –monitoring durchgeführt. Häufig besteht eine räumliche Verbindung zu ehemaligen Gaskraftwerken oder auch Tankstellen.

Schwermetalle und Arsen

Einträge von Schwermetallen in das Grundwasser können im Zusammenhang mit einem relativ breiten Spektrum an Nutzungen oder ggf. geogenen Belastungen stehen. So ist es nicht ungewöhnlich auf erhöhte Schwermetallkonzentrationen an Altstandorten der metallverarbeitenden Industrie, z.B. Verzinkereien oder galvanischen Betrieben zu treffen. Es können aber auch Verbrennungsrückstände fossiler Brennstoffe, Klärschlämme oder Agrochemikalien für Einträge von Schwermetallen verantwortlich sein. In der Regel sind diese Verunreinigungen nicht sehr mobil, da die Stoffe größtenteils in der Bodenmatrix gebunden vorliegen. Änderungen in der Nutzung, Baustellen oder anderweitige physikalische Einwirkungen können allerdings eine Mobilisierung herbeiführen und zeitweise zu erhöhten Werten im Grundwasser beitragen.

Im Zeitraum zwischen 2017 und 2022 wurden bei allen betrachteten Metallen stellenweise Überschreitungen der TrinkwV-Grenzwerte nachgewiesen. Die Verteilung über das Stadtgebiet ist diffus. Es lassen sich Verbindungen zu vormaligen oder aktuellen Industrie-/Gewerbegebieten, aber auch zu landwirtschaftlichen Bereichen oder Kleingärten finden. Letzteres steht möglicherweise einerseits im Zusammenhang mit der früher gängigen Aufbringung von Klärschlamm und/oder mit Auffüllmaterialien auf ehemaligen Brachflächen, die jetzt gärtnerisch genutzt werden. An dieser Stelle sei auf das Infoblatt der Stadt Nürnberg „Schwermetallinfo für den Garten“ hingewiesen [8].

Drei Standorte im Stadtgebiet weisen im Grundwasser bei den Metallen Überschreitungen der Stufe-2-Werte auf. Vorgefunden wurden dort Blei, Cadmium und Chrom. Erhöhte Schwermetallkonzentrationen kommen im Nürnberger Stadtgebiet häufig in Verbindung mit Auffüllungen oder Altdeponien vor.

Höhere Arsengehalte im Grundwasser können in Nürnberg geogen bedingt sein, da die, den Nürnberger Untergrund aufbauenden Gesteinsschichten des Mittleren Keuper bereichsweise hohe Arsengehalte aufweisen. So können bayernweit im Grundwasser des Mittleren und Oberen Keuper (in klastischer Fazies) Arsenkonzentrationen von im Mittel 0 µg/l bis ca. 6 µg/l, aber auch Maximalwerte von über 70 µg/l geogen bedingt sein [9]. Größtenteils bleiben die im Überwachungsmessnetz vorgefundenen Arsengehalte innerhalb dieses Bereichs. Der weitaus größte Teil dieser Messstellen weist Arsengehalte unterhalb des aktuell gültigen Grenzwertes der TrinkwV von 10 µg/l auf, der Bereich zwischen dem 25 %- und 75 %-Quantil liegt bei 0 µg/l bis 5,5 µg/l. Einige Ausnahmen kommen vor (ca. 2 % der Messstellen) und übersteigen geogene Hintergrundgehalte. Diese Nachweise stehen zum Teil mit Altdeponien oder Auffüllungen in Verbindung.

Im Rahmen der Altlastenbearbeitung sind drei Standorte im Nürnberger Stadtgebiet mit einer laufenden oder erforderlichen Grundwassersanierung (bzgl. Arsen, Cadmium, Zink) konfrontiert. Bei zwei weiteren wurde diese abgeschlossen (Chrom VI). Dazu kommen zwei Bauwasserhaltungen mit auffälligen Analysen sowie ein Notwasserbrunnen.

Leitfähigkeit und pH-Wert

Das Grundwasser aus den Grundwasservorkommen im Sandsteinkeuper, das neben dem Quartär im Wesentlichen den Hauptgrundwasserleiter im Nürnberger Stadtgebiet bildet, weist im Mittel einen Hintergrundwert der Leitfähigkeit von ca. 500 µS/cm auf [9]. Im Nürnberger Stadtgebiet werden Werte bis zu 1.000 µS/cm als allgemeine urban geprägte Hintergrundwerte angenommen. Darüber hinaus bildet sich der Zusammenhang zwischen erhöhter Leitfähigkeit und erhöhten Chlorid-Werten, wie auch in den vorherigen Grundwasserberichten beschrieben, wieder deutlich ab. Zusätzlich finden sich entsprechende höhere Befunde im Bereich von Gewerbe- und Industriegebieten, teilweise auch in agrarisch genutzten Gebieten. Der Grenzwert von 2.500 µS/cm bei 20 °C Wassertemperatur bzw. von 2.790 µS/cm bei 25 °C Wassertemperatur aus der TrinkwV wurde im Zeitraum 2017 – 2022 bei keiner Messstelle des Überwachungsmessnetzes überschritten.

Die pH-Werte des Grundwassers im Nürnberger Stadtgebiet reichen bei den Messungen im Zeitraum 2017 – 2022 in den Maxima von 5,6 bis 8,2. Für das Puffer- und Lösungsvermögen der Inhaltsstoffe im Grundwasser ist der pH-Wert maßgebend. Bei natürlichen, unbeeinflussten Grundwässern wird der pH-Wert hauptsächlich durch die Konzentrationen von CO_2 und gelöstem Kalk, zum Teil aber auch durch den Austausch mit der umgebenden Festphase als Puffersystem (vermittels Huminstoffen und Mineralsalzen des Bodens), bestimmt. Fast 90 % der Analysendaten liegen in einem für Grundwässer in Keupergesteinen charakteristischen pH-Bereich von 6,5 – 8 [9].

Chlorid

Der Parameter Chlorid, als Indikator für typische anthropogene Beeinflussung im urbanen Raum, findet sich flächendeckend im gesamten Stadtgebiet und größtenteils auch mit Werten größer 25 mg/l. Bis zu diesem Wert kann man noch bei dem in Nürnberg vorliegenden geologischen Untergrundaufbau von einem natürlich vorkommenden Salzgehalt ausgehen. Darüber liegende Messwerte deuten auf Einträge aus anthropogenen Nutzungen und Tätigkeiten hin. Insbesondere Streusalzeinsätze im Winter stellen eine Eintragsquelle dar. Weitere Quellen können Deponien und künstliche Auffüllungen, punktuelle Abwassereinleitungen oder auch Düngemitteleinsatz sein.

Aus Karte 9 und Karte 10 geht hervor, dass höhere Konzentrationen vielfach in Bereichen höherer Verkehrsdichte und größeren Aus- und Einfallstraßen um den Stadtkern herum auftreten. Auch in industriell/gewerblich geprägten Gebieten finden sich z.T. höhere Werte. Im Vergleich zu den vorhergehenden Betrachtungszeiträumen ist festzustellen, dass keine nennenswerten Veränderungen in der prozentualen Verteilung der Analysendaten zu verzeichnen sind. Es ist vielmehr zu einer leicht negativen Gesamtentwicklung mit insgesamt steigender Tendenz gekommen. An neun Prozent der betrachteten Messstellen wird der TrinkwV-Grenzwert von 250 mg/l überschritten (vgl. Diagramm 4).

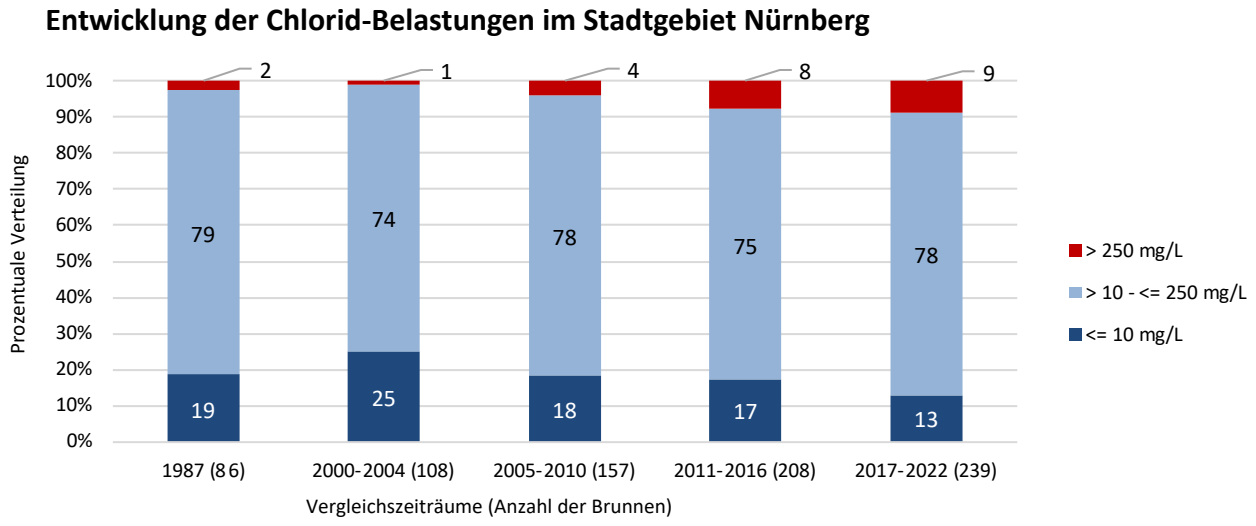
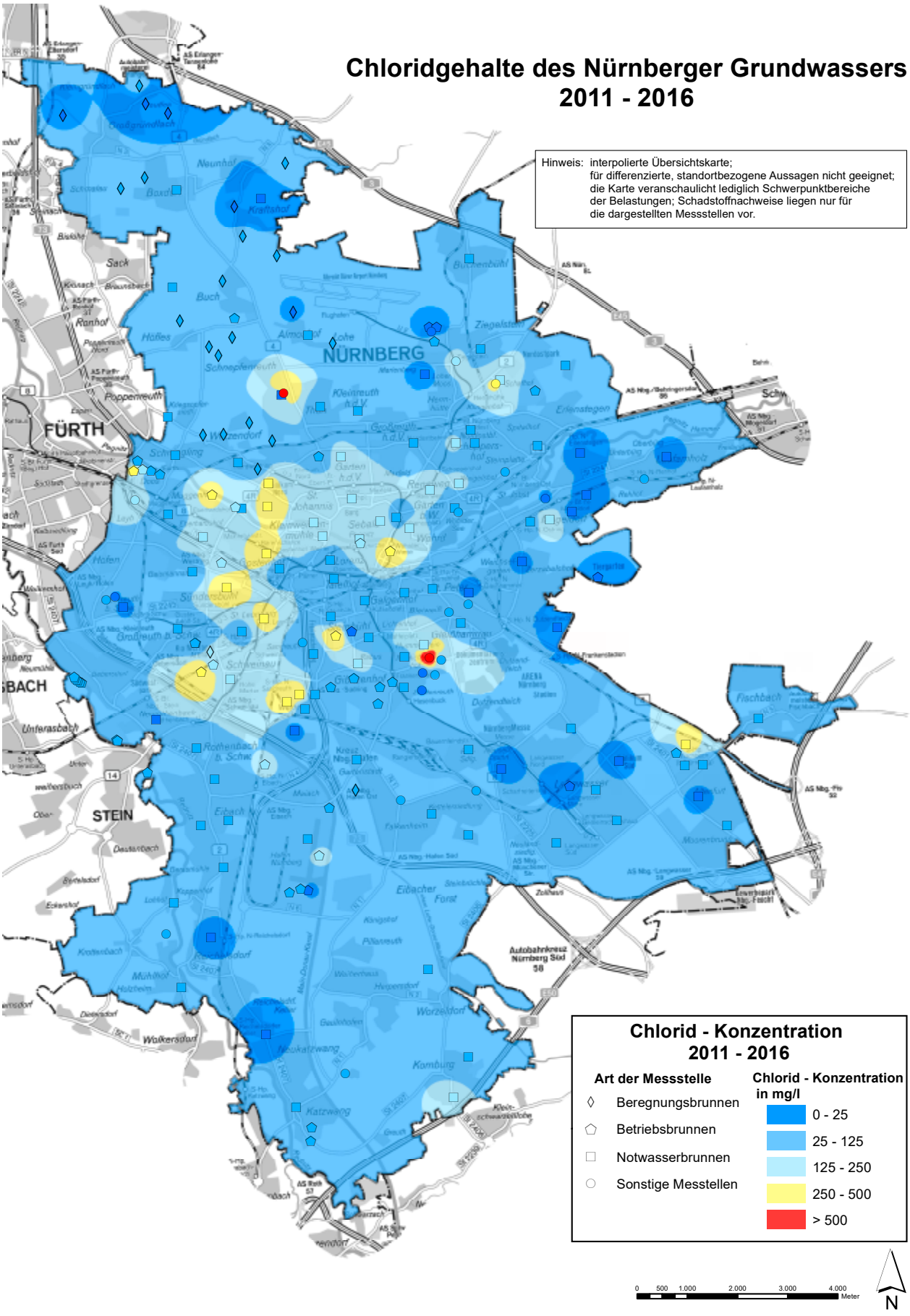
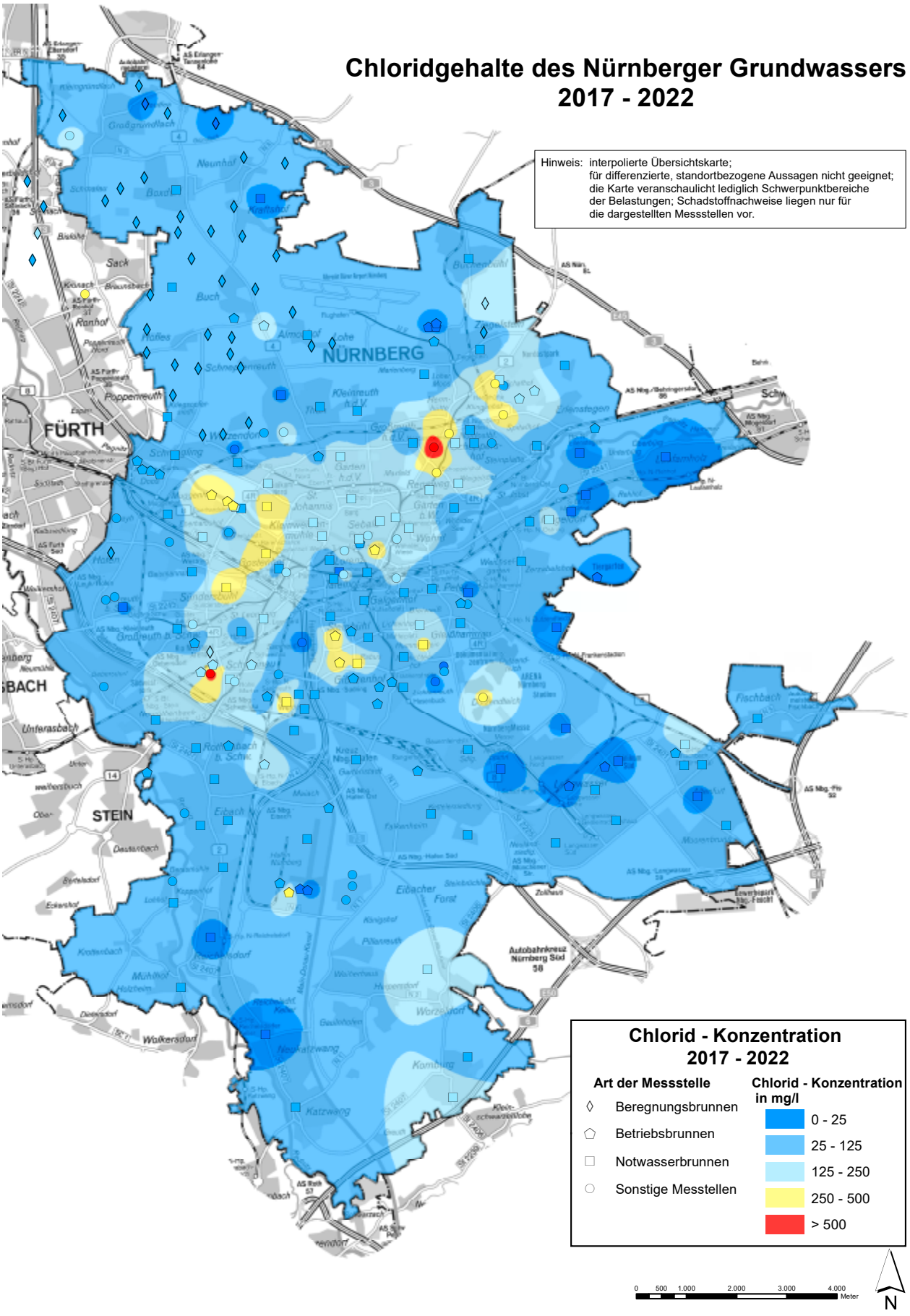


Diagramm 4: Prozentuale Verteilung von Chlorid-Gehalten in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes in verschiedenen Zeiträumen *(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)*



Karte 9: Chlorid-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)*



Karte 10: Chlorid-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)*

Eisen & Mangan

In den Schichten des Sandsteinkeupers liegende Grundwasservorkommen zeichnen sich regelmäßig durch geogen bedingte höhere Konzentrationen an Eisen und Mangan aus. Gesundheitlich ist dies unbedenklich und birgt keine weiteren Risiken, jedoch kann ein unangenehmer Geschmack des Wassers daraus resultieren. Für Brunnen, geothermische Anlagen sowie Wasserrohre können die hieraus entstehenden Ablagerungen auf Dauer jedoch problematisch werden, da sie zu einer raschen Alterung der Rohre und Leitungen bis hin zur Unbrauchbarkeit führen können. Dieser Vorgang wird auch als Verockerung bezeichnet. Die Grenzwerte nach TrinkwV liegen für Eisen bei 0,2 mg/l und für Mangan bei 0,05 mg/l. Als verockerungsrelevant gelten Schwellenwerte von 0,2 mg/l für Eisen sowie 0,1 mg/l für Mangan. Diese werden in Nürnberg bei einer Vielzahl der Messstellen nicht eingehalten und z.T. auch deutlich überschritten. Etwa die Hälfte der Analysenergebnisse bei Mangan überschreiten im Zeitraum 2017 bis 2022 den Schwellenwert für Brunnen, knapp über 40 Prozent auch den TinkwV-Grenzwert. Bei Eisen wird der Grenzwert bei etwa 15 Prozent der Analysedaten nicht eingehalten. Die räumliche Verteilung ist undifferenziert und kann stark variieren. Sie hängt von den räumlich und zeitlich wechselnden Ablagerungsbedingungen der Gesteinsschichten, aus welchen das Grundwasser entnommen wird, ab.

Fazit

Nürnberg hat eine lange und intensive Geschichte als industrielles und gewerbliches Zentrum Nordbayerns, als überregionaler Verkehrsknotenpunkt und mit seinem großen Anbaugebiet für Gemüse und andere landwirtschaftliche Produkte. Schließlich erfolgten sehr umfangreiche Zerstörungen im 2. Weltkrieg und anschließend die Anlage von Altdeponien. Die qualitative stoffliche Beschaffenheit des Nürnberger Grundwassers ist daher im Wesentlichen durch verschiedene Belastungsschwerpunkte geprägt. Durch Erkundung und Sanierung/Sicherung von Altlasten sowie den Einsatz neuer Technologien in Landwirtschaft und Gartenbau werden sukzessive Fortschritte bei der Vermeidung von Schadstoffeinträgen und in der Beseitigung von Belastungen erzielt.

Durch das Vorliegen von beachtlichen Schadstoffdepots in Boden und Grundwasser sind jedoch weiterhin erhebliche Bemühungen erforderlich, um im Stadtgebiet Nürnberg insgesamt mittel- bis langfristig flächendeckend eine gute Grundwasserqualität zu erreichen (vgl. Kapitel 1.1.4 – 1.1.8).

Zusätzliche Herausforderungen bringt der Umgang mit „neuen“ Schadstoffgruppen (vgl. Kapitel 1.1.3). Durch Erkundungen und Monitoring werden zum einen weiterhin Standorte mit Sanierungsrelevanz hinzukommen. Die Änderungen der gesetzlichen Vorgaben mit Inkrafttreten der neuen BBodSchV im August 2023, bewirken jedoch, dass zukünftig vielmehr auf die Schadstofffracht abgezielt wird und die Konzentrationen, insbesondere im Feststoff, nicht mehr die maßgebliche Rolle spielen. Dadurch bietet sich zum anderen die Möglichkeit, laufende Grundwassersanierungsmaßnahmen unter Verhältnismäßigkeitsaspekten teilweise neu zu beurteilen.

1.1.3 Grundwasserbelastungssituation - PFAS

Stoffgruppen-Übersicht

Die Abkürzung PFC steht für per- und polyfluorierte Chemikalien, in der Literatur hat sich zwischenzeitlich allerdings der Begriff PFAS (per- oder polyfluorierte Alkylsubstanzen) durchgesetzt. Chemisch gesehen bestehen die organischen Verbindungen aus Kohlenstoffketten verschiedener Längen, bei denen die Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind. Die Stoffgruppe der PFAS umfasst derzeit ca. 4.700 bekannte Einzelsubstanzen.

Die perfluorierten Verbindungen lassen sich grundsätzlich in zwei Klassen einteilen: Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren. Die wichtigsten Vertreter dieser beiden Klassen sind PFOA (Perfluoroktansäure) und PFOS (Perfluoroktansulfonsäure). Daneben sind noch die Fluortelomeralkohole (z.B. H4-PFOS) als wichtige Gruppe zu nennen.

Außerdem werden PFAS in langkettige und kurzkettige Verbindungen mit jeweils unterschiedlichen chemischen Eigenschaften unterteilt. Als langkettig gelten alle Perfluorsulfonsäuren ab sechs perfluorierten Kohlenstoffatomen (≥ C6) sowie alle Perfluorcarbonsäuren ab sieben perfluorierten Kohlenstoffatomen (≥ C7). Beide Substanzklassen, Perfluorsulfonsäuren und Perfluorcarbonsäuren ab einer Kohlenstoffkettenlänge von C4 werden auch als poly-/perfluorierte Tenside (PFT) bezeichnet (vgl. Abbildung 2).

Darüber hinaus sind auch die so genannten Precursor (Vorläufersubstanzen zu perfluorierten Verbindungen) von großer Bedeutung.

Stoffeigenschaften

Durch die Fluorbindung weisen diese organischen Stoffe spezielle Eigenschaften auf. PFAS sind chemisch und thermisch extrem stabil und biologisch nicht oder nur sehr schwer abbaubar, sie sind also persistent. Aufgrund ihrer wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften werden PFAS in zahlreichen Verbraucherprodukten und in verschiedensten Industriezweigen eingesetzt.

Einsatzbereiche

PFAS kommen nicht natürlich vor. Sie werden durch den Menschen geschaffen. Aufgrund ihrer besonderen technischen Eigenschaften werden PFAS in vielen verschiedenen industriellen Prozessen und in Verbraucherprodukten eingesetzt (vgl. Abbildung 3). Der Herstellungs- bzw. Einsatzzeitraum von PFAS lässt sich auf Grundlage von verschiedenen Literaturrecherchen auf die frühen 1950er Jahre zurückverfolgen.

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS) finden sich in vielen alltäglichen Produkten wie z.B. in fettabweisenden Lebensmittelverpackungen, Imprägniersprays, Textilien (insbes. Outdoor-Bekleidung), Farben und Lacke, antihaft-beschichtetem Kochgeschirr (Teflon) und Feuerlöschschäumen (AFFF-Schäume).

Aufgrund ihrer schmutz-, farb-, fett-, öl- und gleichzeitig wasserabweisenden Eigenschaften finden insbesondere die perfluorierten Tenside (PFT) Anwendungen in zahlreichen Industriezweigen (z.B. Galvanik, Farb- und Lackherstellung, Kosmetik, Papier, Textilveredelung).

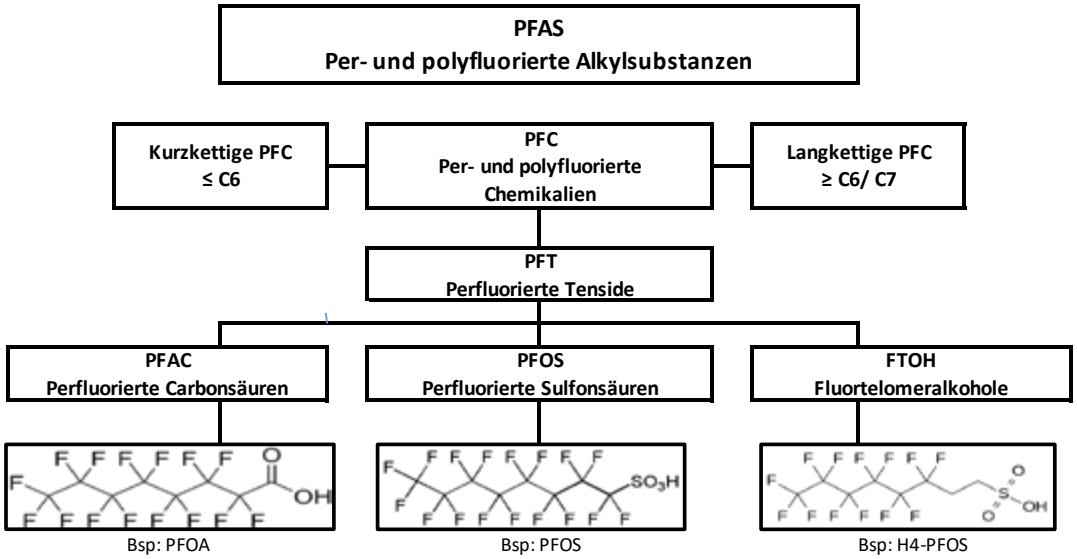


Abbildung 2: Übersicht über die Stoffgruppe der PFAS *(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)*

Besonderes Augenmerk liegt auf dem Einsatz von PFAS-haltigen Feuerlöschmitteln zur Bekämpfung von Bränden oder im Rahmen von Löschübungen. Potenzielle Verdachtsbereiche stellen somit auch Flughäfen, Berufs- und Werksfeuerwehren sowie alle Brandübungsplätze und (frühere) Großbrandereignisse dar.

Analytik und Grenzwerte für Boden und Grundwasser

Bei der Laboranalytik zur Bewertung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten werden derzeit standardmäßig 13 PFAS-Einzelverbindungen untersucht. Für sieben der 13 Parameter wurden zwischenzeitlich Leitwerte mit Geringfügigkeitsschwellen (GFS) abgeleitet, bei den restlichen sechs Stoffen existieren gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) [11].



Abbildung 3: Anwendungsbereiche der PFAS *(Quelle: Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, ÖVGW, Wien [10])*

PFAS-Einzelparameter	Prüfwert [µg/l] [1)]	Hinweis
Perfluornonansäure (PFNA)	0,06	Übernahme des GFS-Wertes als Prüfwert in der BBodSchV (gültig ab 01.08.2023)
Perfluoroktansulfonsäure (PFOS)	0,1	
Perfluoroktansäure (PFOA)	0,1	
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	0,1	
Perfluorhexansäure (PFHxA)	6	
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	6	
Perfluorbutansäure (PFBA)	10	
	Schwellenwert [µg/l] [2)]	
Perfluordekansäure (PFDA)	0,1	Übernahme des gesundheitlichen Orientierungswertes (GOW)
H4-Perfluoroktansulfonsäure (H4-PFOS)	0,1	
Perfluoroktansulfonamid (PFOSA)	0,1	
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpA)	0,3	
Perfluorheptansäure (PFHpA)	0,3	
Perfluorpentansäure (PFPeA)	3	

[1)] **Prüfwerte** sind "Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt" (§8 Abs.1 Nr.1 und 2, BBodSchV)

[2)] **Schwellenwerte**: bei Überschreitung dieser Werte im Grundwasser liegt in der Regel eine schädliche Veränderung des Grundwassers im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes vor (WHG) [11]

Tabelle 2: Prüfwerte für PFAS für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser gemäß neuer BBodSchV *(Stand 01.08.2023)*

Für die in Tabelle 2 aufgeführten sieben PFAS-Einzelverbindungen mit definierten GFS-Werten wurden in der neuen, im August 2023 in Kraft getretenen Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) bundeseinheitliche Prüfwerte festgelegt. Bei den sechs weiteren Parametern werden amtlich festgesetzte Schwellenwerte als Vollzugshilfe herangezogen.

Die Neufassung der seit Anfang 2021 gültigen Europäischen Trinkwasserrichtlinie listet erstmalig 20 Verbindungen aus der PFAS-Gruppe als Schadstoffe auf, die auch in die Neufassung der deutschen Trinkwasserverordnung (TrinkwV) 2023 mit verbindlichen Grenzwerten einfließen werden. Für die 20 aufgeführten Einzelverbindungen kommt ab dem 12.01.2026 ein Summenwert von 0,1 µg/l zur Anwendung oder alternativ 0,5 µg/l, wenn die gesamte PFAS-Gruppe erfasst wird. Für die Summe von den 4 Einzelsubstanzen PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS gilt außerdem ab 12.01.2028 ein Grenzwert von 0,02 µg/l.

PFAS-Untersuchungen im Stadtgebiet Nürnberg

Dem Umweltamt liegen Ergebnisse zu PFAS-Untersuchungen z.B. im Zuge der Altlastensachbearbeitung, in Zusammenhang mit der wasserrechtlichen Überwachung (z.B. von Industriebrunnen) oder im Rahmen von Sonderprojekten vor.

Flughafen

Die ersten gezielten PFAS-Altlastenerkundungen im Stadtgebiet Nürnberg erfolgten im Jahr 2010 am Flughafen Nürnberg im Bereich eines früheren Löschübungsbeckens. Der Schadensfall am Flughafen Nürnberg stellt bis heute die größte PFAS-Altlast im Stadtgebiet Nürnberg dar (weitere Detailinformationen können dem Grundwasserbericht 2017, Kapitel 5.1.4, entnommen werden [12]).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Sanierung seit 2015 in Abstimmung mit den Behörden erfolgreich betrieben wird. Seit 2018 finden die Sanierungsmaßnahmen auf Grundlage eines verbindlich erklärten Sanierungsplanes statt.

Am Flughafen wird derzeit in zwei Bereichen aktiv Grundwasser gefördert und ausgereinigt. Im Hauptschadenszentrum, das ehemalige Löschbecken Ost, wird eine Quellensanierung betrieben und südwestlich des Ziegellach Biotopes erfolgt eine Abstromsicherung vor Übertritt der Schadstofffahne in den Bucher Landgraben (vgl. Karte 12 weiter unten). Durch die beiden Maßnahmen konnten bis Ende 2022 bereits rund 8 kg an PFAS-Schadstoffen aus dem Grundwasser entfernt werden.

Weitere PFAS-Schadensfälle in Nürnberg

Seit dem Bekanntwerden der PFAS-Problematik im Jahr 2010 wurden bei zahlreichen PFAS-Verdachtsflächen in Nürnberg Altlastenuntersuchungen zur Beweissicherung vorgenommen. Neben dem Flughafen konnten bisher neun weitere Standorte mit erhöhten PFAS-Nachweisen im Grundwasser identifiziert werden (vgl. Tabelle 3).

Am Standort einer ehemaligen Lackfabrik in Nürnberg Schweinau wurde im Schadenszentrum eine umfangreiche Bodensanierung erforderlich, bei der rund 6.000 Tonnen an PFAS-belastetem Aushub entsorgt wurden. Das Schadstoffpotenzial konnte durch den Erdaushub maßgeblich reduziert werden, was sich u.a. auch durch weitergehende Grundwasseruntersuchungen (z.B. Pumpversuche) bestätigte. Derzeit findet noch ein nachlaufendes Monitoring zur Überwachung der Grundwassersituation statt.

Weiterhin sind bisher vier Galvaniken aufgefallen, bei denen u.a. in der Verchromung PFAS als Benetzungs- und Antischleiermittel eingesetzt wurden. Hierbei ist zu erwähnen, dass PFAS bei Galvanik-Betrieben neben Schwermetallen und Lösungsmitteln überwiegend als Begleitkontamination vorkommen.

Darüber hinaus sind zwei Standorte in Zusammenhang mit Brandereignissen und Löschübungen zu nennen. Bei einem Brand auf einem Betriebsgelände in Nürnberg Gibitzenhof im Jahr 2021 wurde im beprobten Löschwasser PFAS gefunden, das anschließend auch im Boden und in den neu errichteten Grundwassermessstellen festgestellt wurde. Die Nachweise waren allerdings aus bodenschutzrechtlicher Sicht insgesamt nur als geringfügig erhöht einzustufen. Im Fall des Brandübungsplatzes stehen derzeit noch die Ergebnisse aus der Detailerkundung zur abschließenden Gefährdungsabschätzung aus.

Einen Überblick der bisherigen PFAS-Schadensfälle zeigt Tabelle 3.

Klassische Metallverarbeitungsbetriebe, die aufgrund ihres Lösemitteleinsatzes im Stadtgebiet vielfach als langjährige LHKW-Schadensfälle in Bearbeitung sind/waren, nehmen bezüglich der PFAS-Stoffgruppe bisher keine bedeutende Rolle ein. Im Jahr 2020 wurden im Auftrag des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg sechs ausgewählte Betriebe mit Lösemittelschäden exemplarisch auf PFAS untersucht. Hierbei konnten insgesamt keine erhöhten Gehalte nachgewiesen werden. Auch andere Schadensfallstandorte, bei denen beweissichernde PFAS-Analysen gefordert wurden, zeigten insgesamt nur untergeordnete PFAS-Nachweise im Spurenbereich.

Standort	**Branche**	**Sachstand** (06/2023)
Ziegelstein	Flughafen (Löschübung)	Grundwassersanierung
Gleißhammer	Löschübungsplatz	Detailerkundung (ggf. Bodensanierung)
Sündersbühl	Galvanik	Monitoring
Höfen	Galvanik	Monitoring
Eibach	Druckerei (mit Galvanik)	Detailuntersuchung + Monitoring
Langwasser	Druckerei (mit Galvanik)	Monitoring
Schweinau	Farben- und Lacke	Bodensanierung + Monitoring
Gibitzenhof	Schrottplatz	Monitoring abgeschlossen
Gibitzenhof	Brandereignis	Beweissicherung abgeschlossen
Großreuth h.d. Veste	Elektrotechnik	Detailerkundung ausstehend

Tabelle 3: PFAS-Schadensfälle im Stadtgebiet Nürnberg – Stand 06/2023 *(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)*

Industriebrunnen

Im Zuge der wasserrechtlichen Überwachung von Industriebrunnen sind durch den Betreiber im zweijährigen Rhythmus behördlich geforderte Grundwasseranalysen durchzuführen. Der Untersuchungsumfang wurde ab dem Jahr 2019 um den Parameter PFAS erweitert. Seither liegen PFAS-Untersuchungsergebnisse für insgesamt 45 Industriebrunnen vor. Bei 43 Industriebrunnen konnten bisher keine erhöhten PFAS-Konzentrationen gemessen werden. Lediglich zwei Förderbrunnen zeigten Auffälligkeiten durch geringfügig erhöhte Gehalte oberhalb der Prüfwerte.

Für Einen der betroffenen Brunnen im Gewerbegebiet Ziegelstein ist aufgrund der räumlichen Nähe zum Flughafen von einer PFAS-Verschleppung im Zuge der Grundwasserförderung auszugehen. Dieser Brunnen wird allerdings nicht mehr genutzt und wurde im Jahr 2021 zurückgebaut. Bei den anderen Brunnen im Gewerbegebiet Hafen finden derzeit weiterführende Untersuchungen im Rahmen der Altlastensachbearbeitung statt. Die Ursache der dortigen PFAS-Nachweise konnte mit Stand Juni 2023 noch nicht abschließend geklärt werden (s.o.).

Wasserschutzgebiet (WSG) Erlenstegen

Im Rahmen eines Sonderprojektes wurden in 2019 in Teilbereichen des Wasserschutzgebietes Erlenstegen (Gemarkung Mögeldorf und Laufamholz) insgesamt elf ausgewählte Brunnen sowie der Langsee beprobt und auf PFAS untersucht.

Im Ergebnis wurden bei der Untersuchungskampagne keine bodenschutzrechtlich oder wasserwirtschaftlich relevanten PFAS-Gehalte festgestellt. Alle Messwerte lagen deutlich unterhalb der oben genannten Prüf- bzw. Schwellenwerte.

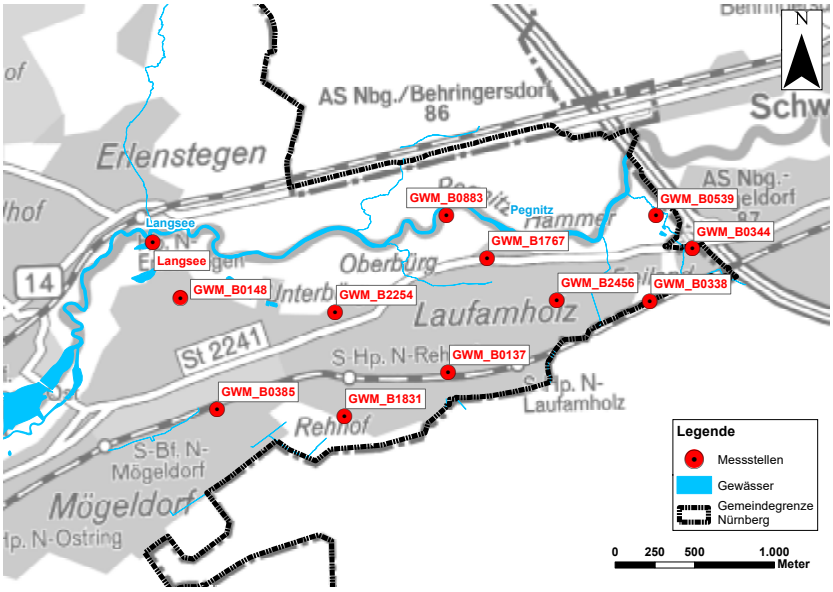
Die Lage der 12 Probenahmestellen ist in Karte 11 dargestellt.

PFAS-Monitoring Knoblauchsland

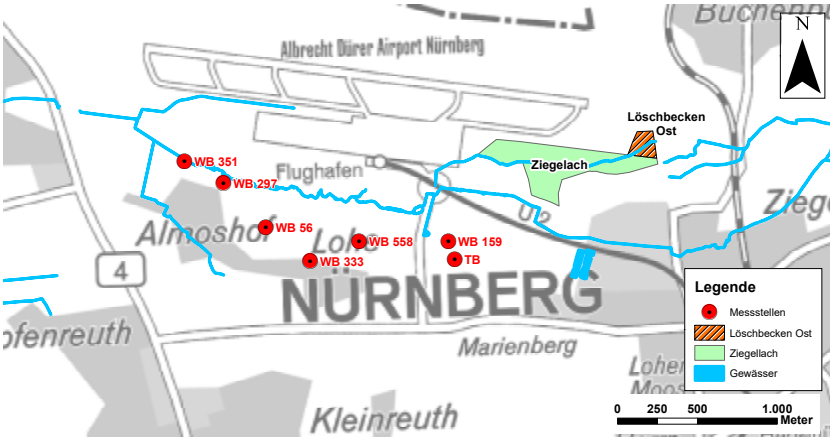
In Zusammenhang mit dem PFAS-Schadensfall am Flughafen Nürnberg findet seit 2011 ein Grundwassermonitoring an ausgewählten Beregnungsbrunnen im landwirtschaftlich geprägten Knoblauchsland statt. Seit 2011 wurden insgesamt sieben verschiedene Beregnungsbrunnen untersucht, vier davon werden im Auftrag des Umweltamtes regelmäßig jedes Jahr beprobt.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass im Rahmen des über 10-jährigen Monitorings keine bodenschutzrechtlich oder wasserwirtschaftlich relevanten PFAS-Gehalte in den untersuchten Beregnungsbrunnen des Nürnberger Knoblauchlandes festgestellt werden konnten.

Die Lage der betreffenden Beregnungsbrunnen ist in der Karte 12 dargestellt.



Karte 11: Probenahmestellen im Wasserschutzgebiet Erlenstegen *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



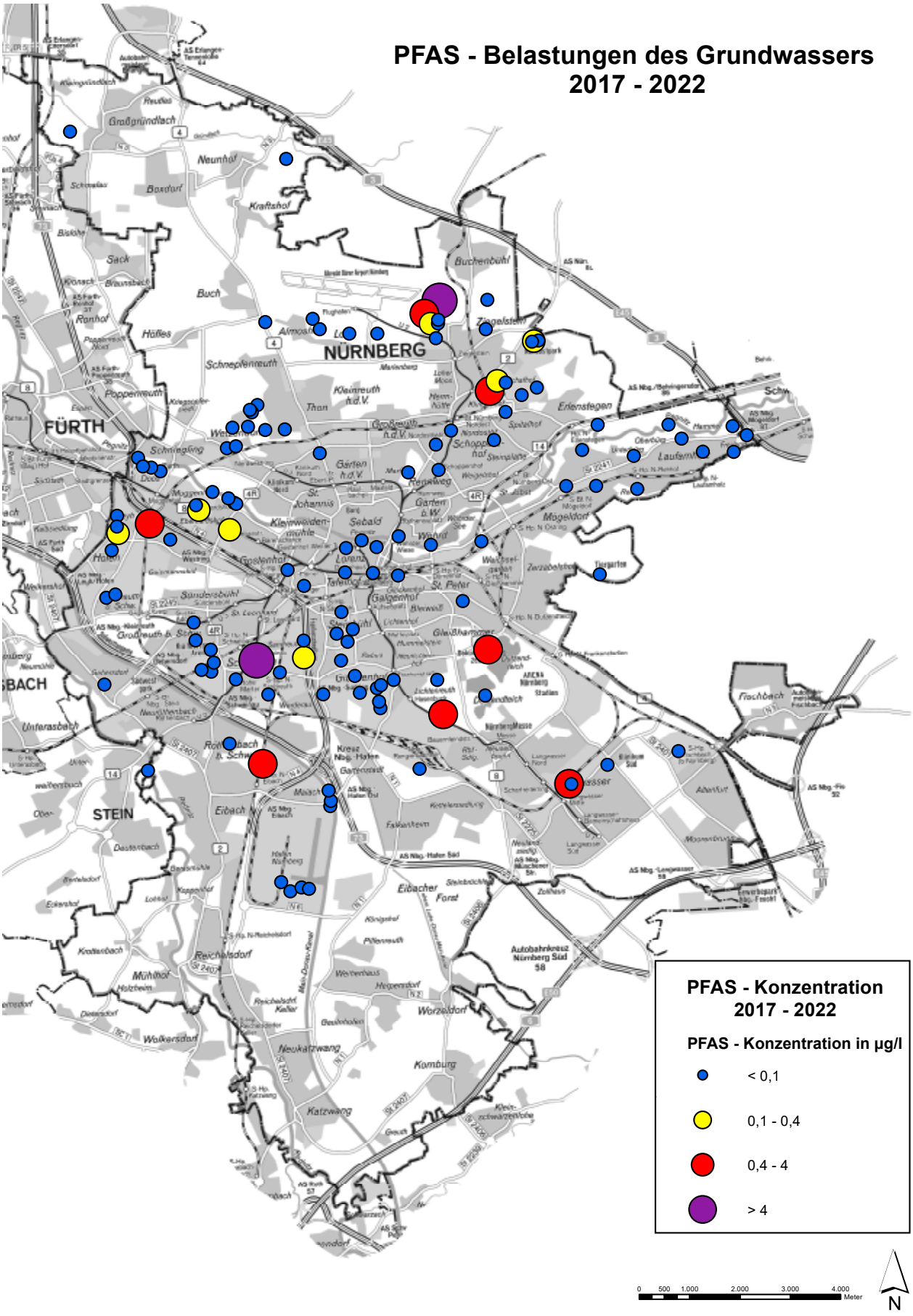
Karte 12: Auf PFAS untersuchte Beregnungsbrunnen im Knoblauchsland *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Ausblick

Zu Beginn der PFAS-Altlastenbearbeitung in den Jahren 2009/2010 lagen bei Behörden und Sachverständigen insgesamt relativ wenige Erfahrungen bzgl. Umgang und Bewertung von PFAS-Verunreinigungen vor. Mit der verstärkten Erforschung der Stoffgruppe, der Bereitstellung von fachlichen Arbeitshilfen, der zunehmenden Praxiserfahrung und schließlich der Ableitung von gesetzlichen festgelegten Grenzwerten für die Hauptvertreter aus der PFAS-Gruppe stehen aktuell wichtige Instrumente für eine fundierte Gefährdungsabschätzung und die Ableitung von Sanierungsmaßnahmen zur Verfügung. Die anfängliche Unsicherheit ist zwischenzeitlich durch eine gewisse Routine in der Sachbearbeitung abgelöst worden.

Die bisherigen Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass PFAS-Altlasten im Stadtgebiet Nürnberg tatsächlich eine bedeutende Rolle einnehmen, die anfängliche Befürchtung einer enormen Anzahl an neuen PFAS-Schadensfällen, ähnlich den LHKW-Verunreinigungen, hat sich jedoch auf Grundlage der aktuell vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt (vgl. Karte 13). Die bisher festgestellten Verunreinigungen können eher als lokal und überwiegend kleinräumig eingeschätzt werden.

Eine große Herausforderung bzw. Unbekannte ergibt sich aber weiterhin durch die schwierige Recherche von PFAS-Verdachtsflächen und die lückenhafte Dokumentation von früheren Brandereignissen, bei denen PFAS-haltige Löschmittel eingesetzt wurden. In diesem Zusammenhang ist es wahrscheinlich, dass in Zukunft weitere PFAS-Schäden beispielsweise durch gezielte Historische Nutzungsrecherchen, Monitoringprogramme oder auch durch Zufallstreffer entdeckt werden.



Karte 13: Nachweis von PFAS (per- oder polyfluorierte Alkylsubstanzen) in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätmessnetzes von Nürnberg im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

1.1.4 Grundwasserbelastungssituation im Knoblauchsland –Sonderuntersuchungsprogramm des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg

(Wasserwirtschaftsamt Nürnberg – Hans Splitgerber)

Anlässlich des Grundwasserberichtes 2023 der Stadt Nürnberg erfolgte in enger Abstimmung mit dem Umweltamt der Stadt Nürnberg im Jahr 2022 durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg im Knoblauchsland eine groß angelegte Untersuchungsaktion an insgesamt 47 Brunnen. Wie zuletzt 2009 wurde das Grundwasser sehr umfangreich auf Nitrat, Pflanzenschutzmittel und Metabolite sowie eine ergänzende Parameterliste untersucht.

Das langjährige, seit 1983 laufende Grundwassermonitoring bzgl. Nitrat musste im Jahr 2018 aus Kapazitätsgründen von 24 auf 12 Brunnen reduziert werden. Von den ursprünglichen 24 Brunnen werden 8 weiter überwacht und 4 neue Brunnen sind dazugekommen.

Zur Erfassung der mit dem Oberflächenwasser abströmenden Nitratbelastungen wurde der Bucher Landgraben vor der Mündung in die Gründlach stichprobenartig mit untersucht.

Die Untersuchungen der Wasserproben wurden durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg und das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) durchgeführt.

Verteilung und Entwicklung der Nitratbelastungen im Grundwasser

Die Nitratbelastungen des Grundwassers im Knoblauchsland wurden durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg fortlaufend 1 – 2 x jährlich an 11 Beregnungs- und einem Industriebrunnen in Buch untersucht. Im Lageplan in Karte 14 sind die Nitratbelastungen im Jahr 2022 dargestellt.

Beurteilung der Nitratsituation im Grundwasser

Es ist erkennbar, dass die Nitratbelastungen im Kernbereich des Knoblauchslands immer noch in einer Größenordnung von überwiegend ca. 150 – 300 mg/l liegen und damit der Zielwert der Wasserrahmenrichtlinie von 50 mg/l großflächig deutlich überschritten wird.

Die Hauptbelastung liegt nach wie vor im Bereich Buch. Hier wurde in einem im Norden von Buch gelegenem, 28,5 m tiefen Beregnungsbrunnen mit ca. 400 mg/l weiterhin die höchste Nitratbelastung im Knoblauchsland festgestellt.

Im Vergleich dazu lagen die Nitratbelastungen eines im Süden von Buch gelegenen, 60,5 m tiefen Industriebrunnens im Durchschnitt der letzten 6 Jahre bei 148 mg/l.

Da die Beregnungsbrunnen durchgehend zwischen ca. 30 – 60 m tief und im Sandstein verfiltert sind, erlauben die Messwerte eine gute Aussage zu großräumig im Sandstein vorliegenden Belastungen. Die Tiefenausbreitung der Nitratbelastungen im Grundwasser lässt sich mangels geeigneter, in verschiedenen Horizonten verfilterter Brunnen schwer beurteilen. Vergleicht man die Nitratbelastung des 28,5 m tiefen Beregnungsbrunnens im Norden Buchs von ca. 400 mg/l mit den Nitratbelastungen in den tieferen, bis ca. 50 – 60 m reichenden Brunnen im Umfeld von ca. 180 – 300 mg/l Nitrat deutet sich an, wie stark die Belastungen mit der Tiefe abnehmen.

Zeitliche Entwicklung der Nitratbelastungen

a) Neues Nitratmessnetz des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg (12 Brunnen):

Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte der Nitratbelastungen im Grundwasser an den langfristig und regelmäßig untersuchten Brunnen ist im Diagramm 5 dargestellt. Es sind die 12 Brunnen des neuen WWA-Messnetzes soweit möglich mit langfristigen Zeitreihen abgebildet. Bezüglich der neu aufgenommenen Brunnen wurden orientierend auch historische Nitratwerte von Dritten übernommen.

b) Beurteilung der Entwicklung der Nitratbelastungen im gesamten Betrachtungsgebiet:

Eine einheitliche Tendenz im gesamten Betrachtungsraum ist nicht erkennbar. An einem Großteil der untersuchten Brunnen verbleibt die Nitratbelastung unter gewissen Schwankungen in einem ähnlichen Bereich wie in den letzten 10 – 15 Jahren. Insbesondere im Kernbereich der landwirtschaftlichen Nutzung um Buch und im zugehörigen Grundwasserabstrom liegen die Nitratkonzentrationen unverändert auf einem sehr hohen Niveau von rund 180-300 mg/l.

Auffällig ist insbesondere ein 28,5 m tiefer, im Norden von Buch gelegener Beregnungsbrunnen, bei dem in den letzten Jahren ein Anstieg der Nitratbelastungen auf rund 400 mg/l festgestellt wurde.

Besonders zu erwähnen ist die Entwicklung der Nitratbelastungen in dem oben genannten, von 17,5 – 58,5 m verfilterten Industriebrunnen in Buch (vgl. Diagramm 6). Hier zeichnet sich bei Förderraten von einigen zehntausend m³/a seit 2001 eine tendenzielle Abnahme der Nitratbelastungen von ca. 200 mg/l auf ca. 150 mg/l bis 2020 ab. Nach der Einstellung der Grundwasserentnahme 2021 gingen die Nitratwerte hier weiter auf ca. 100 mg/l zurück. Anzunehmen ist, dass durch die Grundwasserförderung bis dato stark nitratbelastetes Grundwasser aus dem intensiv landwirtschaftlich genutzten Umfeld herangezogen wurde, was nun nicht mehr der Fall ist. Offensichtlich ist das Grundwasser im Bereich des Siedlungsgebietes Buch selbst erkennbar geringer belastet. Dieser Brunnen fällt zukünftig jedoch aus dem Messnetz heraus. Als

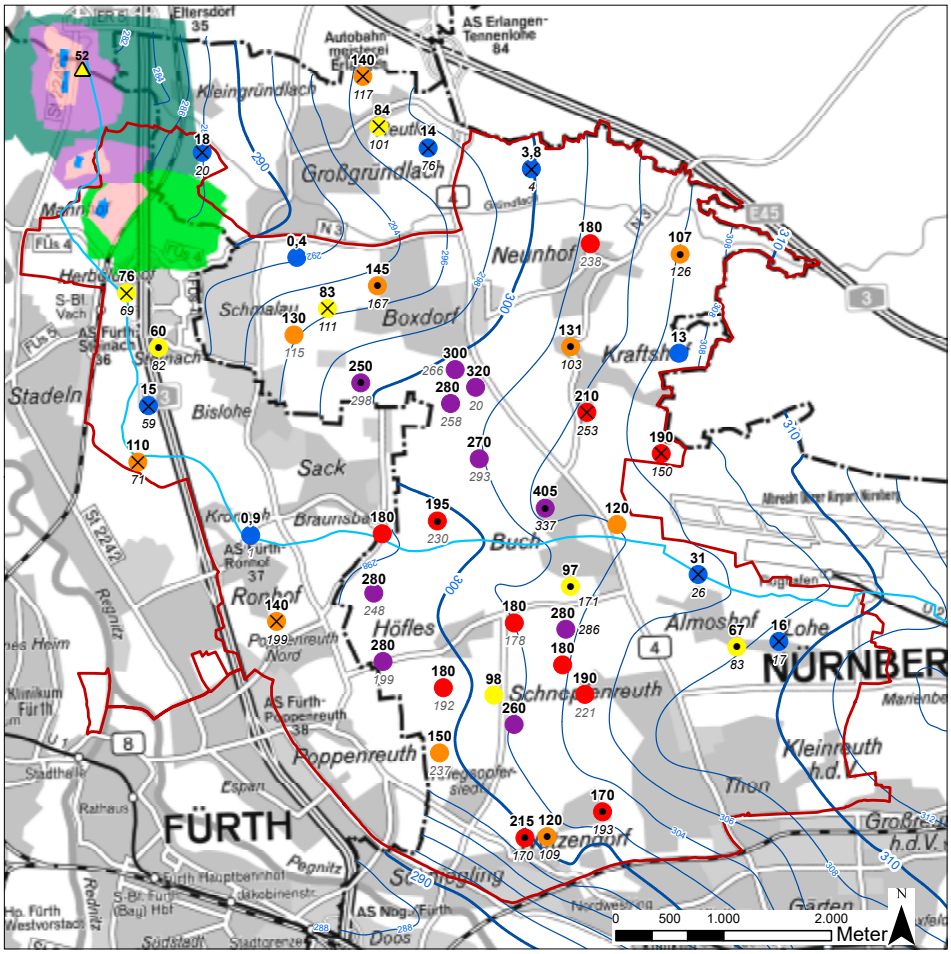
Ersatz soll ein aussagekräftiger Ersatzbrunnen im Umfeld zur weiteren Untersuchung ausgewählt werden.

Im Bereich um Wetzendorf ist teilweise eine leicht ansteigende Tendenz festzustellen, wobei an einem Brunnen in diesem Umfeld auch abnehmende Werte zu beobachten waren.

In einem Notwasserbrunnen auf Fürther Stadtgebiet traten unerklärliche, sehr stark schwankende Nitrat-Belastungen auf. Den Ursachen soll weiter nachgegangen werden.

In den im Zustrom zu den Wasserschutzgebieten gelegenen Brunnen im großräumigen Abstrom des intensiv landwirtschaftlich genutzten Bereichs zeigen sich im Vergleich zu 2009 bzw. zu dem letzten Beobachtungszeitraum 2011 – 2016 überwiegend stagnierende bis leicht abnehmende Belastungen.

Nitratuntersuchungen im Knoblauchsland 2022



Nitratkonzentration in mg/l

- **270** Messwert 2022 (bei mehreren Messwerten in 2022: Mittelwert)
- *293* Vergleichswert: Mittelwert von 2011-2016 (kursiv, schwarz) Werte aus 2009 (kursiv, grau)
- < 50
- 50 - 100
- 100 - 250
- 150 - 250
- > 250
- × altes Nitratmessnetz
- • neues Nitratmessnetz

Wasserschutzgebiete

ZONE
- I
- II
- III
- IIIA
- IIIB

Grundwassergleichen

- 2
- 10
- Bucher Landgraben
- Grenze Verbandsgebiet
- Probenahmestelle am Bucher Landgraben

Karte 14: Nitratbelastungen im Knoblauchsland im Jahr 2022. Das aktuelle Routine-Messnetz des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg (12 Brunnen) ist durch das Symbol • und das ehemalige Nitratmessnetz ist durch das Symbol x markiert. Der Bucher Landgraben wird als bedeutendster Vorfluter hervorgehoben und zur Visualisierung der Grundwasserfließrichtung werden die Grundwassergleichen aus der aktuellen Grundwasserstichtagsmessung 2022 des Umweltamtes Nürnberg eingeblendet *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

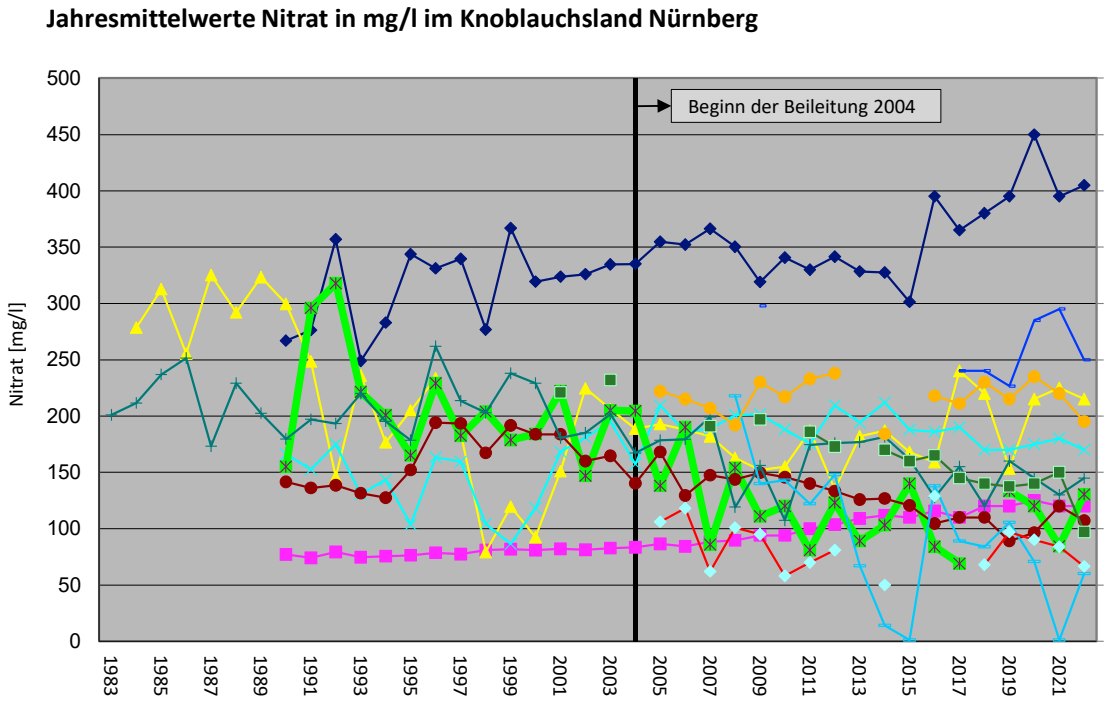


Diagramm 5: Zeitreihen der Nitratbelastungen an 12 Brunnen des WWA-Messnetzes – z.T. mit Daten historischen Daten Dritter *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

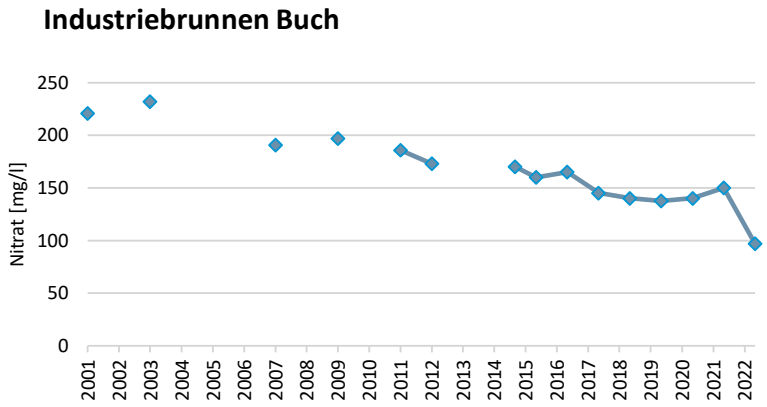


Diagramm 6: Zeitreihe der gemessenen Nitratwerte bei einem Industriebrunnen in Buch *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

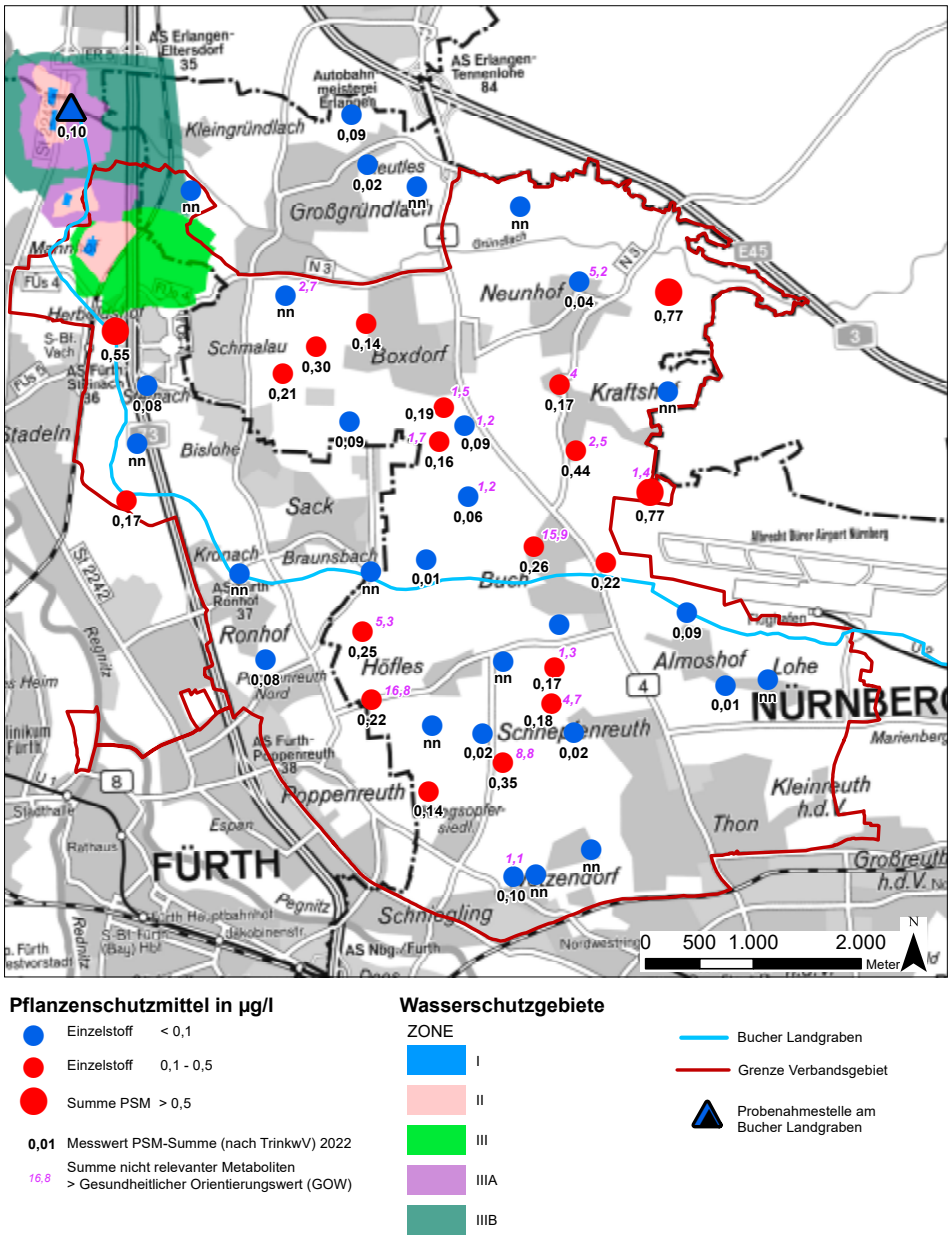
Ergänzende, stichprobenartige Untersuchung des Bucher Landgrabens

Ergänzend wurde im Jahr 2022 durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg eine Gewässerprobe aus dem Bucher Landgraben vor der Einmündung in die Gründlach stichprobenartig auf Nitrat untersucht. Die Nitratkonzentration lag im August 2022 bei 52 mg/l im Vergleich zu 93 mg/l im Dezember 2014. Im Jahr 2021 wurde der Bucher Landgraben monatlich durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg untersucht. Dabei wurden vor der Einmündung in die Gründlach schwankende Werte zwischen 58 mg/l (Mitte August) und 130 mg/l (Ende September) gemessen. Der Jahresmittelwert lag bei 89 mg/l. Die Einzelmessungen von 2014 und 2022 lagen somit im Schwankungsbereich. Die jeweils gemessenen Nitratkonzentrationen sind stark abhängig von Niederschlagsereignissen und Düngung, so dass einzelne Werte nur eine geringe Aussagekraft haben. Diesbezüglich wird auf die ausführliche Betrachtung im Grundwasserbericht 2017 [12] verwiesen.

Pflanzenschutzmittelbelastungen und Untersuchungen auf weitere Stoffe

Im Herbst 2022 und bei einem Brunnen im Februar 2023 wurden durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg aus insgesamt 47 Beregnungsbrunnen Grundwasserproben entnommen und durch das LfU auf relevante Pflanzenschutzmittel (PSM) und Metabolite untersucht. Dabei wurde sehr umfangreich nach verschiedenen Messprogrammen des LfU untersucht, die insgesamt 246 Stoffe (Wirkstoffe und relevante sowie nicht relevante Metabolite) erfassten. Der Untersuchungsumfang war noch weitgehender als für den letzten Grundwasserbericht und umfasst unter anderem alle Parameter des aktuellen Pflanzenschutzmittel-Konzeptes (PSM-Konzeptes) für Wasserschutzgebiete. Deshalb sind Vergleiche zu den vorhergehenden Messaktionen 2009 und 2011 – 2016 wenig aussagekräftig. Zusätzlich wurde auf eine ergänzende Parameterliste untersucht.

Pflanzenschutzmittel-Untersuchungen im Knoblauchsland 2022



Karte 15: Ergebnisse des Sonderuntersuchungsprogrammes auf Pflanzenschutzmittel 2022 des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg. Die Summe der ermittelten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und der relevanten Metabolite gemäß der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) steht unter dem Punktsymbol und die Summe der nicht relevanten Metabolite über den Punkten *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Der Notbrunnen B702a bei der Kriegsopfersiedlung, bei dem zuletzt 2016 sehr hohe Pflanzenschutzmittelbelastungen festgestellt wurden, konnte aus technischen Gründen diesmal nicht untersucht werden. Dieser Brunnen wird auch nicht mehr aktiv zur Bewässerung benutzt.

Die aktuellen Untersuchungsergebnisse aus der Sonderuntersuchung 2022 sind aus dem Lageplan in Karte 15 ersichtlich.

Bei 12 Brunnen wurden Überschreitungen der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) festgestellt, nämlich bei drei Brunnen Überschreitungen des Summenwertes von 0,5 µg/l und bei neun Brunnen Überschreitungen des Einzelwertes von 0,1 µg/l für sieben Wirkstoffe. Insgesamt lagen bei 27 PSM-Einzelstoffen bzw. relevanten Metaboliten (Abbauprodukte der Pflanzenschutzmittel, die gleichwertig zu den Wirkstoffen eingestuft werden) Belastungen über der Bestimmungsgrenze vor. Teilweise handelt es sich dabei um inzwischen nicht mehr zugelassene Wirkstoffe bzw. deren Abbauprodukte (vgl. Kapitel 1.1.7.2.)

Bei 16 Brunnen wurden teils erhebliche Überschreitungen des Gesundheitlichen Orientierungswertes (GOW) [13] für 5 verschiedene nichtrelevante Metabolite (nrM) bis zu max. 16,8 µg/l ermittelt. Insbesondere wurden wieder teils sehr hohe Belastungen mit Metazachlor-Metaboliten vorgefunden. Für die Summe aller untersuchten Metabolite, also auch für solche, für die noch keine GOW-Werte festgelegt wurden, ergaben sich Belastungen bis zu 18,7 µg/l. In etwa 75 % der untersuchten Brunnen wurden mehr als rund 2 µg/l nicht relevante Metabolite ermittelt und überschreiten damit den Gesundheitlichen Orientierungswert (GOW).

Bezüglich Glyphosat und AMPA (Metabolit von Glyphosat) ergaben sich bis auf einen einmaligen, sehr geringen Befund von 0,071 µg/l keine nachweisbaren Belastungen.

Bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse der nicht relevanten Metabolite (nrM) ist zu beachten, dass diese Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln keine biologische / pestizide Aktivität im Sinne der Muttersubstanz aufweisen und nicht gentoxisch bzw. nicht als giftig, sehr giftig, reproduktionstoxisch oder kanzerogen eingestuft sind. Da jedoch mit Einträgen von nrM in das Grundwasser dennoch spezifische Risiken für Mensch und Umwelt einhergehen können, gibt es nach der EU-Leitlinie EC 2003 [14] einen Richtwert von 10 µg/l und für den Trinkwasserbereich gelten die vom Umweltbundesamt herausgegebenen Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) für bestimmte nrM in Höhe von 1 oder 3 µg/l. Die Einstufung kann sich je nach Erkenntnisstand wieder ändern [15].

Im bundesweiten Vergleich wurde für den Zeitraum 2013 bis 2016 festgestellt, dass die Konzentrationen von PSM-Wirkstoffen und relevanten Metaboliten eher stagnieren, während die Belastung mit nicht relevanten Metaboliten (nrM) tendenziell ansteigt. So wurden an 58 % aller untersuchten Grundwassermessstallen nicht relevante Metabolite nachgewiesen, bei 4,7 % lag der Wert über 3 µg/l ([15] und [16]). Wobei dort ebenso wie bei den aktuellen Untersuchungen im Knoblauchsland vor allem die wachsende Datenbasis und höhere Sensibilität für solche Stoffe erst die Schadenssituation genauer erkennen lassen.

Bezüglich der weiter untersuchten Stoffe zeigten sich in 9 Brunnen erhöhte Arsen-Belastungen über dem Stufe-1-Wert von 10 µg/l und in zwei Brunnen Überschreitungen des Stufe-2-Wertes bis zu max. 137 µg/l. Vermutlich sind die erhöhten Arsenkonzentrationen auf geogene Ursachen zurückzuführen. Insbesondere Überschreitungen des Stufe-1-Wertes kommen im Nürnberger Stadtgebiet geogen, d.h. natürlich/geologisch bedingt immer wieder vor.

Beileitung von Beregnungswasser aus dem Regnitzgrund durch den Wasserverband Knoblauchsland und Sicherung des Benker Sandsteins als Trinkwasserreservoir

Eine Verbesserung der Grundwasserverhältnisse in quantitativer und qualitativer Hinsicht wird unter anderem durch die Beileitung von Beregnungswasser aus dem Regnitzgrund erreicht (Gewinnung von Beregnungswasser aus dem sogenannten Grundwasserbegleitstrom der Regnitz/Pegnitz, auch als „Uferfiltrat“ bezeichnet). Hierdurch sollen die Grundwasserressourcen vor Ort geschont werden und durch die Beregnung mit gering Nitrat-belastetem Wasser wird auch, neben anderen Maßnahmen (vgl. Kapitel 1.1.6 und 1.1.7.1), eine langfristige Verbesserung der qualitativen Verhältnisse erwartet.

Durch den erfolgten Rückbau ursprünglich mischverfilterter (Beregnungs-)Brunnen im Knoblauchsland wird der Benker Sandstein (2. Grundwasserstockwerk, vgl. Grundwasserbericht 2017 [12]) dauerhaft vor anthropogenen Schadstoffeinträgen geschützt. Dadurch befindet sich dieser quantitativ und qualitativ in einem guten Zustand und bleibt somit für kommende Generationen als Reserve für hochwertiges Trinkwasser erhalten.

Zusammenfassende Bewertung und Folgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen im Kernbereich des Knoblauchslandes um Buch unverändert sehr hohe Nitratbelastungen zwischen ca. 150 – 300 mg/l mit Spitzenwerten von um 400 mg/l in einem 28,5 m tiefen Brunnen im Norden von Buch.

Der Zielwert der Wasserrahmenrichtlinie von 50 mg/l wird weiterhin großräumig überschritten. Damit befindet sich das Grundwasser im Knoblauchsland gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie in einem schlechten Zustand und die Flächen im Knoblauchsland sind als „Rotes Gebiet" (mit Nitrat belastetes Gebiet) gemäß Düngeverordnung (DüV) ausgewiesen (vgl. Kapitel 1.1.6).

Die Hauptbelastung liegt unverändert im ungefähr nach Westen orientierten Grundwasserabstrombereich von Buch und um Wetzendorf. Im Norden von Buch sind die Nitratbelastungen in einem 28,5 m tiefen Brunnen tendenziell weiter auf bis zu rund 400 mg/l angestiegen.

Ein eindeutiger Trend zur Abnahme der Belastungen ist noch nicht erkennbar. Die Nitrat-Belastungen schwanken teilweise stark.

In Teilbereichen des Knoblauchslandes wie Neunhof und teils in Wetzendorf sind bereits langsam abnehmende Nitratkonzentrationen festzustellen. Dies gilt teilweise auch für das zu den Wasserschutzgebieten abströmende Grundwasser.

Bezüglich Pflanzenschutzmitteln zeigen die erweiterten Untersuchungen in einem Großteil der untersuchten Brunnen erhebliche Konzentrationen an Metaboliten über 2 µg/l. In ungefähr 25 % der Brunnen wurden Überschreitungen der Werte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV-Werte) von 0,1 µg/l für den Einzelstoff (9 Brunnen) bzw. von 0,5 µg/l für die Summe der Pflanzenschutzmittel (3 Brunnen) festgestellt.

Die genauen Ursachen für die nur sehr langsame Abnahme der Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind nach wie vor nicht vollständig klar. Maßgebliche Faktoren dürften in der im Gebiet intensivierten Landwirtschaft mit einer deutlichen jahreszeitlichen Verlängerung der Anbauzeit, dem fortschreitenden Klimawandel mit tendenziell längeren Trockenzeiten und häufigeren Extremwetterereignissen liegen. Die vorliegenden durchlässigen Böden weisen gleichzeitig ein hohes Nitrat-Verlagerungspotential auf. Bislang ist noch unklar, wie hoch der Anteil an Nitrat ist, der aus länger zurückliegenden Nitrateinträgen durch Düngung stammt und erst zeitlich verzögert – aufgrund geringer Sicker- und Durchlässigkeitseigenschaften von wasserundurchlässigeren Bereichen im Untergrund (i.W. Lettenlagen) – weiter transportiert wird. Mit einer Verbesserung der Grundwasserbelastungssituation ist insgesamt nur langfristig zu rechnen.

Zur nachhaltigen Reduzierung des Eintrags von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln in Boden und Grundwasser sind die festgelegten Maßnahmen nach der Wasserrahmenrichtlinie (Bewirtschaftungsplan 2022 – 2027) und die aktuelle Düngeverordnung konsequent umzusetzen. Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse auf Seiten der Landwirtschafts- wie auch Wasserwirtschaftsverwaltung zum Prozessverständnis gilt es hierbei weiterhin und stetig zur Erreichung der gesetzten Ziele im Grundwasserschutz einzubringen.

Ausblick

Das Messnetz des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg soll im Rahmen der vorhandenen Kapazitäten laufend weiter betrieben und hinsichtlich einer möglichst repräsentativen Aussage zu den großräumig vorliegenden Grundwasserbelastungen sowie deren zeitlichen Entwicklung optimiert werden.

Für den weggefallenen Industriebrunnen in Buch und zur besseren Erfassung großräumig aus dem Hauptbelastungsgebiet abströmender Belastungen sollen geeignete Ersatzbrunnen ausgewählt und neu aufgenommen werden. Im Bereich Wetzendorf sollen aufgrund der engen räumlichen Nähe Brunnen herausgenommen werden.

Um die Tiefenausbreitung des Nitrats zu ermitteln, sollen soweit möglich im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht zukünftig weitere, unterschiedlich tief verfilterte Brunnen untersucht werden.

1.1.5 Zustand der Gewässer gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie

(Wasserwirtschaftsamt Nürnberg – Dr. Hatice Frühauf)

„Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss." (Präambel Europäische Wasserrahmenrichtlinie [3]).

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) trat im Dezember 2000 in Kraft und bietet seitdem die rechtliche Basis dafür, mit EU-weit einheitlichen Umweltzielen das Wasser auf hohem Niveau zu schützen. Sie stellt den nachhaltigen Ressourcenschutz und den Erhalt der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer in den Mittelpunkt, erfordert für grenzüberschreitende Gewässer die Zusammenarbeit auf internationaler Ebene und legt fest, dass sowohl wirtschaftliche Aspekte der Wassernutzung als auch die Öffentlichkeit in die Planungsprozesse einbezogen werden.

Wichtigstes Ziel ist es, dass alle Fließgewässer, Seen, Küstengewässer und das Grundwasser den guten Zustand nach Möglichkeit bis Ende 2015 – spätestens bis Ende 2027 – erreichen. Für erheblich veränderte oder künstliche Gewässer gilt anstelle des guten ökologischen Zustands das Umweltziel des guten ökologischen Potenzials. Um dies zu realisieren, werden alle sechs Jahre für ganze Flussgebiete – teils länderübergreifende – umfassende Bewirtschaftungspläne mit Maßnahmenprogrammen aufgestellt (zuletzt im Dezember 2021) und deren Erfolg im Rahmen der ebenfalls sechsjährlich durchzuführenden Bestandsaufnahme regelmäßig überprüft (nächste Überprüfung: 2025). Die kleinste Darstellungseinheit bilden dabei die sog. Wasserkörper, für deren Zustand sowohl ein Verbesserungsgebot als auch ein Verschlechterungsverbot gilt. In die Bewertung des Grundwassers fließen zusätzlich Trendanalysen ein. Bei einem Grundwasserkörper handelt es sich um ein abgegrenztes Grundwasservolumen, für das möglichst einheitliche hydrogeologische Verhältnisse vorliegen. Flusswasserkörper bestehen aus einem oder mehreren Gewässern oder Gewässerabschnitten mit gleichartigen Eigenschaften. Neben den Belastungen, die auf Wasserkörper einwirken, werden auch deren Zuschnitte im Rahmen der Bestandsaufnahmen überprüft.

Zustand des Grundwassers im Stadtgebiet

Für den aktuellen Bewirtschaftungsplan (2022 – 2027) wurden die Zuschnitte der Grundwasserkörper (GWK) im Bereich des Stadtgebietes angepasst, da weitere Erkenntnisse über die Ausdehnung mächtiger Quartärrinnen im Stadtgebiet vorliegen, die hier einen eigenen Grundwasserleiter bilden und als separate Grundwasserkörper ausgewiesen wurden. Das Gebiet der Stadt Nürnberg liegt nun im Bereich von drei Grundwasserkörpern des Sandsteinkeupers sowie zwei Grundwasserkörpern des Quartärs (vgl. Karte 16):

2_G019 (Sandsteinkeuper - Forst Tennenlohe),

2_G084 (Sandsteinkeuper - Nürnberg),

2_G082 (Sandsteinkeuper - Fischbach b. Nürnberg),

2_G083 (Quartär - Nürnberg),

2_G081 (Quartär - Stein (Mfr)).

An den Grundwasserkörpern 2_G007 (Sandsteinkeuper - Heilsbronn), 2_G009 (Sandsteinkeuper - Roth) und 2_G011 (Feuerletten/Albvorland - Hersbruck) hat es ebenfalls einen kleinen Anteil; die Anteile an zwei weiteren Grundwasserkörpern im Randbereich (2_G016 Quartär - Alterlangen und 2_G015 Feuerletten/Albvorland - Eckental) sind sehr gering.

Zur Beurteilung des Zustands im Grundwasser wird sowohl die Nutzung des Grundwassers (Menge) als auch die Qualität des Grundwassers (Chemie) bewertet.

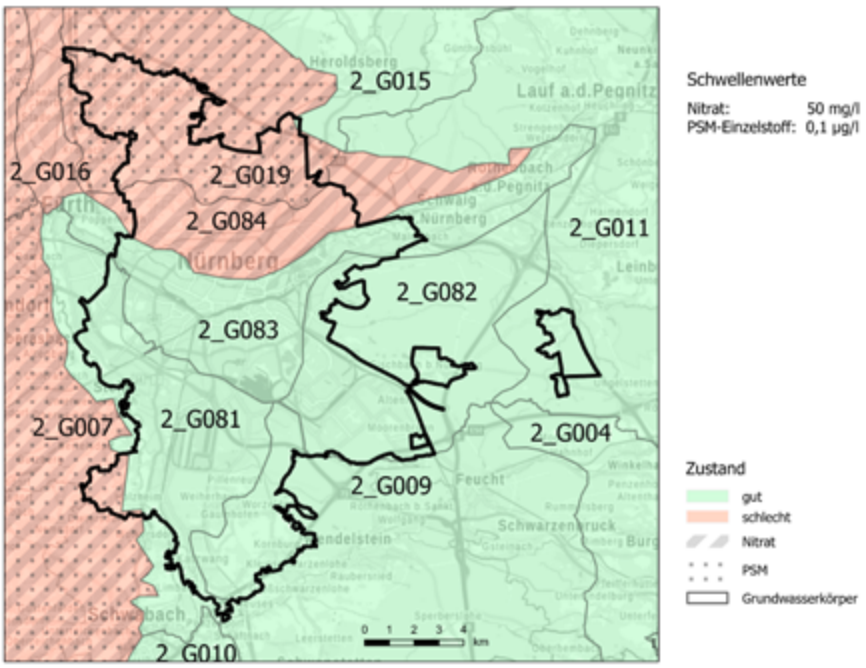
Mengenmäßiger Zustand:

Alle zehn Grundwasserkörper sind mengenmäßig im guten Zustand, d.h. es findet bezogen auf die Grundwasserneubildungsrate keine Übernutzung statt.

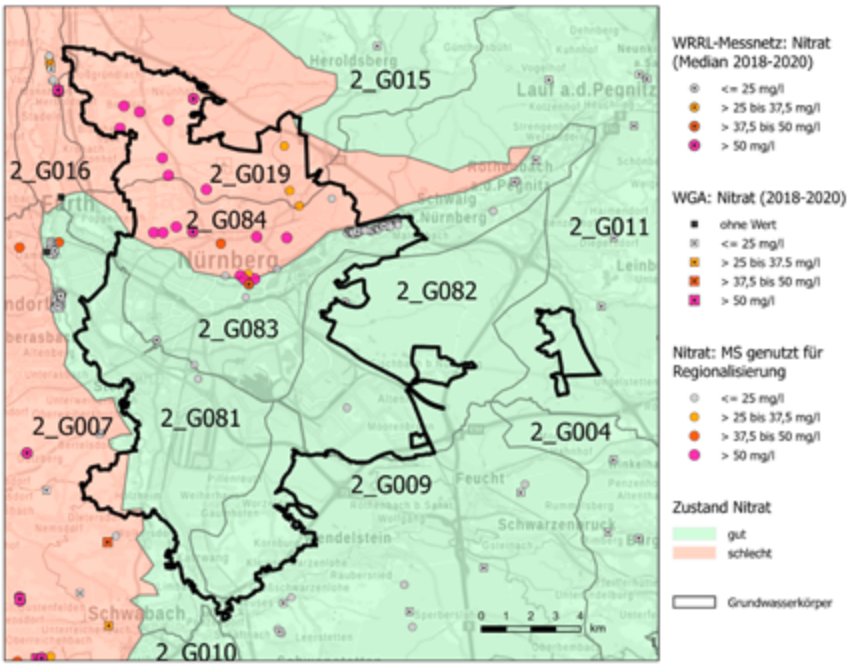
Chemischer Zustand:

Die Messwerte der Grundwassermessstellen zeigen, dass sich drei der zehn Grundwasserkörper (2_G019, 2_G084 und 2_G007) nicht im guten chemischen Zustand (vgl. Karte 16) befinden, da sowohl für Nitrat (vgl. Karte 17) als auch z.T. Pflanzenschutzmittel (PSM) und ihre relevanten Metabolite (vgl. Karte 18) eine Überschreitung der Schwellenwerte der Grundwasserverordnung vorliegt. Die jahrelange, intensive gärtnerische Nutzung des Knoblauchslandes, das innerhalb der GWK 2_G019 und 2_G084 liegt, spiegelt sich in der Belastung des Grundwassers wider.

Im Grundwasserkörper 2_G019 liegen zusätzlich Grundwasserverunreinigungen mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) im Bereich des Flughafengeländes vor (vgl. Kapitel 1.1.3). Diese stammen vornehmlich aus früheren Löschmitteleinsätzen und -übungen. Das in den Bucher Landgraben und den Unterlauf der Gründlach abströmende, mit PFAS belastete, oberflächennahe Grundwasser beeinträchtigt auch dieses grundwasserverbundene, aquatische Ökosystem, so dass dort die Umweltqualitätsnorm für PFOS (Teilgruppe aus den PFAS) von 9,1 µg/kg in Biota der Oberflächengewässerverordnung (OGewV [17]), d.h. in bestimmten Fischarten, deutlich überschritten wird.



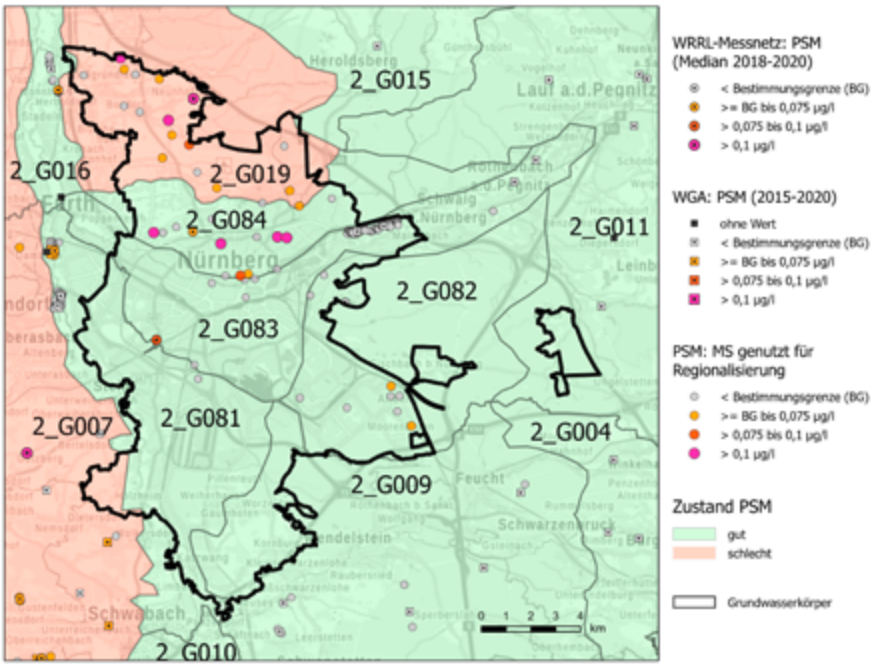
Karte 16: Chemischer Zustand des Grundwassers *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*



Karte 17: Chemischer Zustand des Grundwassers bezüglich Nitrat – Einzelstoffe
(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

In der Messstelle des WRRL-Messnetzes des neu abgegrenzten Grundwasserkörpers 2_G084 traten keine PSM-Schwellenwertüberschreitungen auf, so dass Überschreitungen, der zur Regionalisierung (Übertragung von punktuell gemessenen Konzentrationen in die Fläche) genutzten Zusatzmessstellen bei der Zustandsbeurteilung unberücksichtigt blieben. Im Rahmen der Risikoabschätzung 2019 wurde der Grundwasserkörper jedoch als im Risiko eingestuft. Bei den nachgewiesenen PSM handelte es sich um Wirkstoffe, die mittlerweile nicht mehr zugelassen sind. Weitere über das Verbot hinausgehende Maßnahmen sind nicht notwendig.

Die im Stadtgebiet von Nürnberg festgestellten Belastungen mit LHKW (Leichtflüchtigen Halogenierten Kohlenwasserstoffe) (vgl. Kapitel 1.1.2) verteilen sich auf mehrere Grundwasserkörper. Bei der Prüfung signifikanter Belastungen



Karte 18: Chemischer Zustand des Grundwassers bezüglich PSM – Einzelstoffe
(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

durch LHKW gemäß WRRL wird geprüft, ob die Signifikanzschwelle von 10 µg/l für die Summe LHKW in einer zusammenhängenden Fläche oder Abstromfahne von mindestens 5 km² überschritten wird. Zum Zeitpunkt der letzten Aktualisierung der Bestandsaufnahme zur Wasserrahmenrichtlinie im Jahr 2019 ergaben sich bei der vorliegenden räumlichen Verteilung und der abgeschätzten Flächenausdehnung keine signifikanten Belastungen gemäß den Signifikanzkriterien.

Maßnahmenprogramm:

Zur Zielerreichung wurden für die drei Grundwasserkörper, die sich noch nicht im guten Zustand befinden, Maßnahmen ins aktuelle Maßnahmenprogramm (Bewirtschaftungszeitraum 2022 – 2027) aufgenommen, das eine Defizitanalyse mit Maßnahmenvollplanung zur Zielerreichung auch über das Jahr 2027 hinaus beinhaltet. Neben grundlegenden Maßnahmen sind folgende ergänzende Maßnahmen aus dem LAWA-Katalog [18] umzusetzen:

- Maßnahmen zur Reduzierung punktueller Stoffeinträge aus Altlasten und Altstandorten (2_G019 – Folge des PFC-Schadens auf dem Flughafengelände, Code 21)
- Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge ins Grundwasser durch Auswaschung aus der Landwirtschaft (2_G019, 2_G084 und 2_G007, Code 41),
- Abstimmung von Maßnahmen in oberhalb und/oder unterhalb liegenden Wasserkörpern (2_G007 und 2_G019, Code 512).

Im Vergleich zur letzten Maßnahmenplanung wurden weniger ergänzende Maßnahmen aufgenommen. Allerdings gilt die Umsetzung der Düngeverordnung als wichtige grundlegende Maßnahme im Bereich der Nährstoffreduzierung aus der landwirtschaftlichen Nutzung. „Mit den seit 01.05.2020 geltenden Änderungen der Düngeverordnung und der Ausweisung der mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebiete in Bayern durch die Ausführungsverordnung zur Düngeverordnung (AVDüV, in Kraft seit 01.01.2021 [19]) haben sich die verpflichtend umzusetzenden Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft gegenüber dem vorherigen Bewirtschaftungszeitraum deutlich geändert. Dies hat vielfach zur Folge, dass die im Rahmen der Defizitanalyse ermittelten Minderungsanforderungen an den Nährstoffeintrag nun mit verpflichtend umzusetzenden (= grundlegenden) Maßnahmen erreicht werden können. In solchen Fällen wurden keine ergänzenden gewässerschonenden Maßnahmen für den 3. Bewirtschaftungszeitraum geplant." (vgl. Steckbriefe zu den einzelnen GWK auf der Website des Bayerischen LfU [20]).

Zielerreichung:

Da sich bereits eingeleitete oder geplante Maßnahmen im Grundwasser erst verzögert auswirken, wird das Ziel des guten Zustands voraussichtlich erst deutlich nach 2027, im Grundwasserköper 2_G019 erst nach 2045, erreicht werden.

Zustand der Fließgewässer im Stadtgebiet

Die Stadt Nürnberg hat Anteil an 10 Flusswasserkörpern (FWK), vgl. Karte 19, von denen vier als natürlich, fünf als (durch den Menschen) erheblich verändert und einer als künstlich eingestuft sind. Den künstlichen Flusswasserkörper bildet der Main-Donau-Kanal (2_F033). Zu den erheblich veränderten Flusswasserkörpern gehören im Süden die

Rednitz-Nebengewässer des FWK 2_F031, im innerstädtischen Bereich der Rednitzabschnitt FWK 2_F016 und der Pegnitzabschnitt FWK 2_F038, die Pegnitzzuflüsse ab dem Wöhrder See (FWK 2_F043) sowie die Unterläufe der Regnitz-Nebengewässer im Norden und der Bucher Landgraben, zusammengefasst im FWK 2_F049.

In Fließgewässern wird sowohl der ökologische als auch der chemische Zustand bewertet.

Chemischer Zustand:

Alle Flusswasserkörper verfehlen den guten chemischen Zustand, da die Umweltqualitätsnormen (UQN) der Oberflächengewässerverordnung (OGewV [17]) für die allgegenwärtigen Parameter Quecksilber und bromierte Diphenylether in Biota (Fische) flächendeckend überschritten werden. Die Rednitz-Nebengewässer im Süden des Stadtgebietes (FWK 2_F031) sowie die östlichen Zuflüssen der Regnitz im Norden (FWK 2_F049) sind darüber hinaus auch mit Nitratkonzentrationen über der UQN von 50 mg/l belastet. Die Einzugsgebiete der belasteten Gewässer(teile) liegen überwiegend im Bereich der ebenfalls mit Nitrat belasteten Grundwasserkörper. In einem Teil der Pegnitz und ihrer Nebengewässer sowie im Unterlauf der Gründlach (2_F035, 2_F038, 2_F042 und 2_F049) wird zusätzlich die UQN für PFAS überschritten. Die Einträge stammen insbesondere von Abwässern aus der industriellen Produktion und sonstigen Grundwasserschäden im Einzugsgebiet (vgl. Kapitel 1.1.3).

Bei der Betrachtung ohne die ubiquitären Stoffe Quecksilber und bromierte Diphenylether zeigt sich ein differenzierteres Bild (Karte 20). Demnach würde aktuell die Hälfte der zehn Wasserkörper den guten chemischen Zustand erreichen.

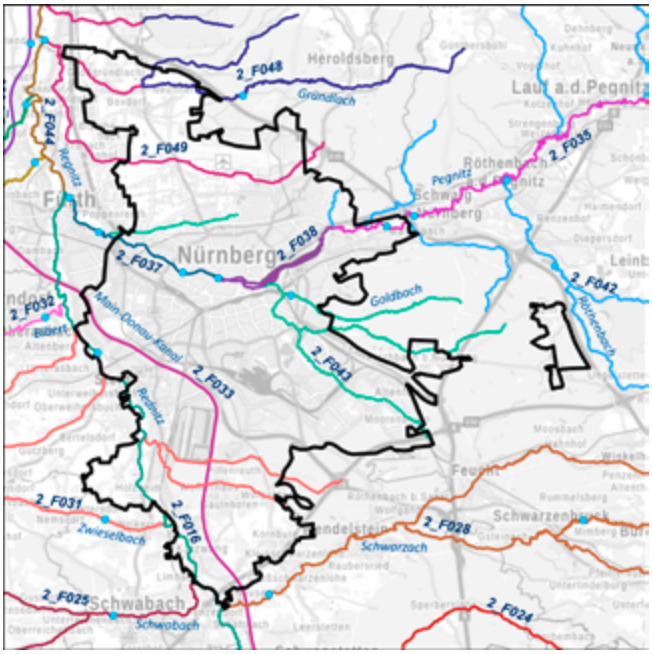
Ökologischer Zustand/Potenzial:

Der ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial wird in fünf Klassen von sehr gut bis schlecht eingestuft. Es handelt sich hierbei um eine Worst-Case-Betrachtung von vier biologischen Qualitätskomponenten, d.h. die schlechteste Einzelkomponente bestimmt den ökologischen Zustand/ das ökologische Potenzial.

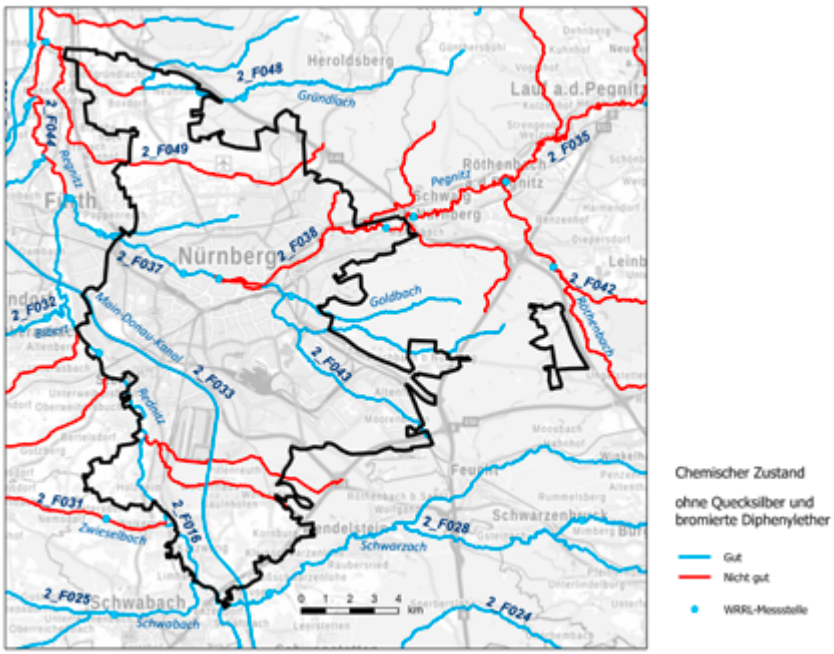
Im Stadtgebiet wird der gute ökologische Zustand / das gute ökologische Potenzial bislang in keinem der zehn Flusswasserkörper erreicht (Karte 21).

Die Komponenten Fische und Makrozoobenthos zeigen Defizite bei Struktur und Durchgängigkeit an, die in allen Gewässern außer der Rednitz (2_F016) vorliegen; für den Main-Donau-Kanal 2_F033 werden diese Komponenten nicht klassifiziert. Als Ergebnis der neuesten Fischuntersuchungen konnte lediglich für die Pegnitzzuflüsse im FWK 2_F042 eine Verbesserung von unbefriedigend zu mäßig nachgewiesen werden. In vier Flusswasserkörpern waren sogar Verschlechterungen zu unbefriedigend (2_F037, 2_F038) oder schlecht zu verzeichnen (2_F048, 2_F031). Das Makrozoobenthos indiziert zusätzlich organische Belastungen, die jedoch nur noch im FWK 2_F049 angezeigt werden. Die pflanzlichen Komponenten Makrophyten und Phytobenthos sowie in eutrophen Gewässern das Phytoplankton dienen als Indikatoren für Nährstoffbelastungen. Diese liegen noch in allen Flusswasserkörpern mit Ausnahme der Pegnitzzuflüsse des FWK 2_F042 vor.

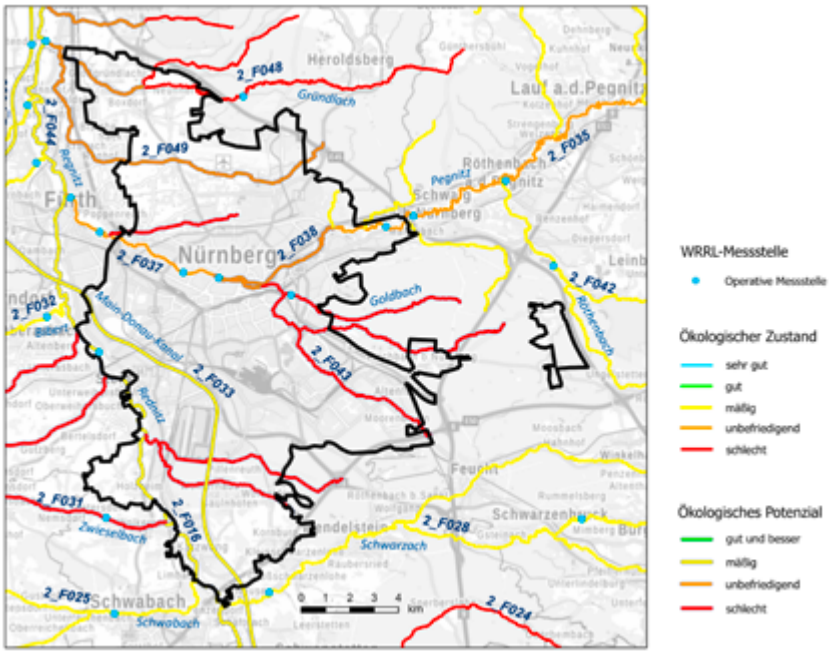
In der Summe weisen die meisten Fließgewässer Defizite sowohl bei der Struktur/Durchgängigkeit als auch insbesondere der Nährstoffbelastung auf.



Karte 19: Lage und Ausdehnung der Flusswasserkörper im Bereich der Stadt Nürnberg
(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)



Karte 20: Chemischer Zustand der Fließgewässer (ohne ubiquitäre Stoffe
(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)



Karte 21: Ökologischer Zustand der Fließgewässer
(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

Maßnahmenprogramm:

Maßnahmen zur Zielerreichung orientieren sich an den Belastungen, die auf die einzelnen Flusswasserkörper und Seen einwirken. Für den aktuellen Bewirtschaftungsplan (2022 – 2027) wurde eine Defizitanalyse mit Vollplanung der Maßnahmen durchgeführt, die z.T. auch über diesen Bewirtschaftungszeitraum hinausreichen. Synergien mit Natura 2000 und/oder Hochwasserschutzmaßnahmen sind im Maßnahmenprogramm berücksichtigt.

Neben den grundlegenden Maßnahmen (gesetzliche Erfordernisse) umfasst das Maßnahmenprogramm zusätzlich ergänzende Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge aus Abwassereinleitungen (2_F048, 2_F042, 2_F035, 2_F031, 2_F016) und aus landwirtschaftlichen Quellen

(2_F049, 2_F048, 2_F043, 2_F037, 2_F035, 2_F031, 2_F016). Des Weiteren sind Maßnahmen zur Schaffung von Durchgängigkeiten und Strukturvielfalt (alle FWK außer dem Main-Donau-Kanal 2_F033) sowie an den Zuflüssen der großen Flüsse Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushalts notwendig. Hierunter fallen z.B.:

- Reduzierung der Phosphor-Einträge aus Kläranlagen durch optimierende Betriebsweisen und ggf. notwendige Umbauten
- Schaffung linearer Durchgängigkeiten durch Umgehungsgerinne, Fischaufstiegsanlagen, Umbau von Abstürzen in Sohlrampen und –gleiten,
- Habitatverbessernde Maßnahmen, wie Entnahme massiver Sicherungen von Ufer und/oder Sohle, Eigendynamik fördern z.B. durch den Einbau von Totholz und anderen Strömungslenkern, Auenentwicklung fördern.

Für die drei Wasserkörper der Pegnitz (2_F035, 2_F037 und 2_F038) sind zusätzlich Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge von Freizeit- und Erholungsaktivitäten in die Maßnahmenplanung eingeflossen.

Mit der letzten Änderung der Düngeverordnung (DüV) 2020 und der aktuellen Ausführungsverordnung zur DüV (2021) haben sich die verpflichtend umzusetzenden (grundlegenden) Maßnahmen deutlich verändert, so dass in vielen Fällen keine darüberhinausgehenden ergänzenden Maßnahmen aufgenommen wurden.

Zielerreichung:

Der gute ökologische Zustand / das gute ökologische Potenzial aller Flusswasserkörper im Stadtgebiet Nürnberg wird nach derzeitiger Einschätzung voraussichtlich erst nach 2027, der gute chemische Zustand aufgrund der Verbreitung ubiquitärer Stoffe erst nach 2045 erreicht.

Weiterführende Informationen

Weitere Informationen zur Wasserrahmenrichtinie und die einzelnen Maßnahmen der jeweiligen Wasserkörper sind im Bewirtschaftungsplan 2022 – 2027 bzw. dem dazugehörigen Maßnahmenprogramm aufgeführt und auf den Internetseiten des LfU abrufbar [20]. Über den UmweltAtlas Bayern [20] können weitere Informationen zum Zustand der bayerischen Gewässer abgerufen und kartografisch dargestellt werden. Daten zu einzelnen Messstellen sind über den Gewässerkundlichen Dienst [21] im Internet zugänglich.

Ubiquitäre Stoffe

Quecksilber wird aufgrund seines hohen Dampfdruckes und der langen atmosphärischen Verweilzeit von etwa einem Jahr über den Luftweg weltweit verfrachtet, so dass auch die Belastung der Gewässer und Böden allgegenwärtig (ubiquitär) auftritt. Dieser Schadstoff wird u.a. bei Verbrennungsprozessen, z.B. Stromerzeugung mit Kohlekraftwerken, freigesetzt, kann aber auch aus natürlichen Quellen wie Vulkanausbrüchen stammen oder geogen bedingt in manchen Gebieten erhöhte Hintergrundgehalte aufweisen (z.T. auch in Buntsandsteinen, Keuper). Auch in der industriellen Produktion (Spiegelherstellung, Holzschutzmittel, techn. Bauteile wie Manometer, Leuchtstoffröhren etc.) sowie im medizinischen Bereich spielt Quecksilber eine Rolle. In der Minamata-Konvention der Vereinten Nationen wurde 2013 von 100 Staaten beschlossen, ab 2020 die Produktion oder den Verkauf quecksilberhaltiger Produkte zu verbieten, da nur global ansetzende Maßnahmen langfristige Verbesserungen versprechen.

Die Familie der **Bromierten Biphenylether** (BDE) besteht aus mehr als 200 verschiedenen bromhaltigen Kohlenwasserstoffverbindungen, die insbesondere als additive Flammschutzmittel in Kunststoffen und Textilien seit den 1960er Jahren vielseitig und weltweit eingesetzt wurden. Sie finden sich in einer Vielzahl von Produkten, u.a. in Elektro- und Elektronikartikeln, Polyurethan-Schäumen, Kunststoffen, Textilien, Baumaterialien und Thermoplasten. Dabei werden im Wesentlichen drei technische Gemische verwendet: PentaBDE, OctaBDE und DecaBDE. Bei der Verarbeitung und Nutzung können BDE z.B. durch Ausdunsten oder Partikelabrieb entweichen. Auch beim mechanischen Zerkleinern durch Schreddern von Kunststoffabfällen können sie in die Umwelt gelangen. Viele dieser Verbindungen sind in der Umwelt sehr langlebig und reichern sich in Lebewesen an. Sie wurden auch in humaner Muttermilch nachgewiesen. Insbesondere niedriger bromierte Verbindungen, die sich vermehrt in den technischen Gemischen PentaBDE und OctaBDE finden oder durch Abbau von DecaBDE entstehen können, sind toxisch und stehen im Verdacht, kanzerogen und endokren wirksam zu sein. Hexa- und HeptaBDE sowie Tetra- und PentaBDE wurden 2009, DecaBDE wurde 2017 in den Annex A der Stockholmer POP Konvention aufgenommen. Es gelten daher Herstellungsverbote mit spezifischen Ausnahmen.

1.1.6 Nitratbelastete Gebiete – Ausweisung Roter Gebiete nach Düngeverordnung

(Wasserwirtschaftsamt Nürnberg – Dr. Hatice Frühauf)

Ausweisung der mit Nitrat belasteten Gebiete zum 30.11.2022

Nitrat ist – wie Phosphor – ein wichtiger Pflanzennährstoff. Mit versickerndem Wasser kann es ins Grundwasser gelangen. Zu viel Nitrat im Grundwasser gefährdet jedoch die Wasserqualität und schränkt die Nutzung als Trinkwasser ein. Nitrateinträge aus landwirtschaftlicher Düngung spielen dabei eine wesentliche Rolle. Die Vorgaben der Düngeverordnung zielen daher auch darauf ab, diese Einträge zu senken (vgl. Kapitel 1.1.7.1). Die Belastung des Grundwassers mit Nitrat ist in den letzten Jahrzehnten in Deutschland nicht wesentlich gesunken, sodass die Vorgaben der EU-Nitratrichtlinie nicht erfüllt werden konnten und die EU ein Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland eröffnet hat. Deshalb wurde die Düngeverordnung (DüV) von 2017 im Jahr 2020 erneut novelliert und erhöhte Anforderungen in den mit Nitrat belasteten (roten) Gebieten zum Schutz des Grundwassers und in eutrophierten (gelben) Gebieten zum Schutz der Fließgewässer bundeseinheitlich festgelegt. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (kurz AVV GeA [22]) gibt die Systematik vor, wie diese Gebiete zu ermitteln sind. Da die EU-Kommission die Ausweisung der mit Nitrat belasteten Gebiete von Anfang 2021 nicht anerkannt hat, wurde die AVV GeA 2022 nochmals aktualisiert. Es werden nur noch die in den Grundwassermessstellen gemessenen Nitratkonzentrationen berücksichtigt, keine landwirtschaftlichen Stickstoffsalden. Belastete Messstellen müssen in einem roten Gebiet liegen und alle belasteten Flächen werden unabhängig von ihrer Nutzung ausgewiesen, also zum Beispiel auch Wald- und Siedlungsflächen. Die Maßnahmen selbst sind jedoch nur auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen umzusetzen.

Die belasteten Gebiete wurden in Zusammenarbeit der bayerischen Umwelt- und Landwirtschaftsverwaltung ermittelt, auf deren Internetseiten ausführliche Informationen inklusive Erklärvideos abgerufen werden können [23], [24].

Ausweisungsschema für mit Nitrat belastete (rote) Gebiete

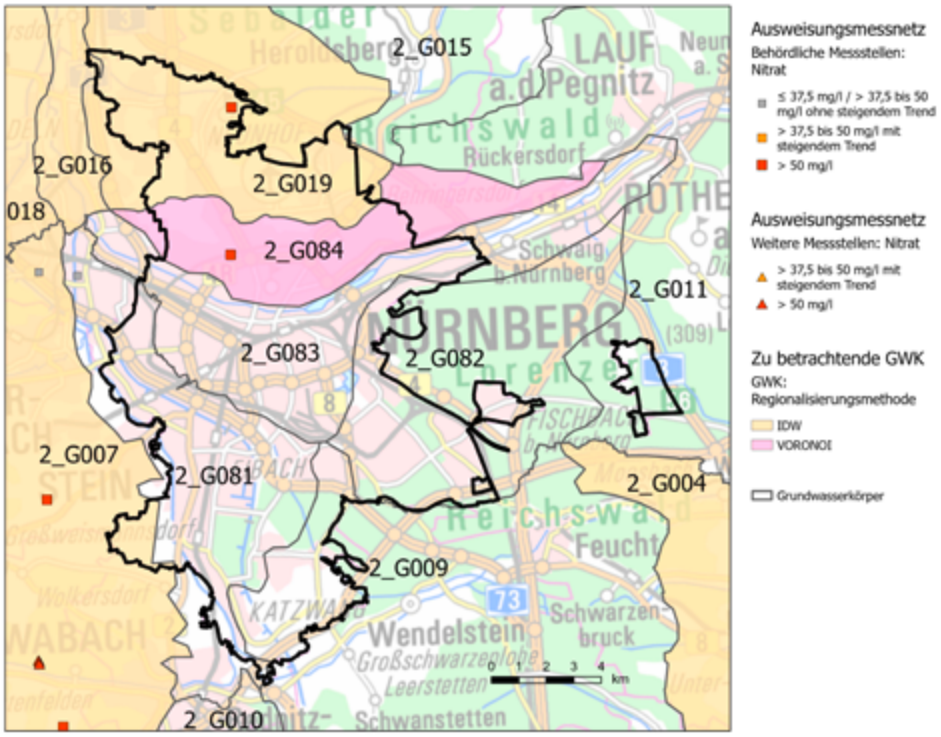
Die belasteten Gebiete wurden schrittweise, wie in Abbildung 4 dargestellt, nach den Vorgaben der AVV GeA v. 10.08.2022 ermittelt.

Schritt 1: Welche Grundwasserkörper sind belastet?

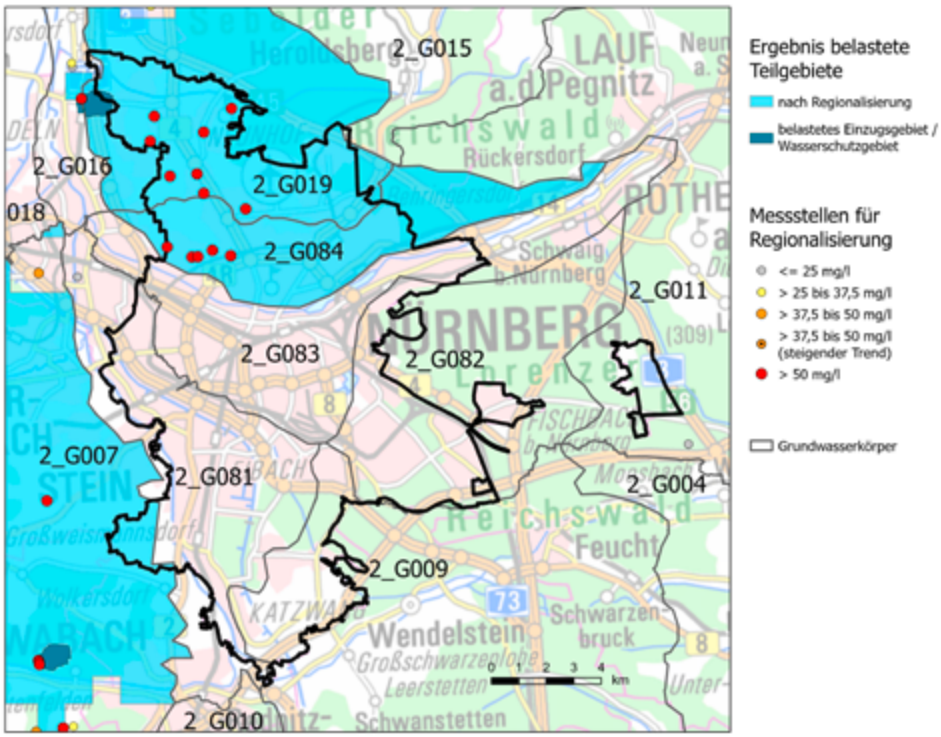
Alle Grundwasserkörper, die sich im schlechten chemischen Zustand befinden, da Nitrat den Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 50 mg/l überschreitet oder bei denen mindestens 37,5 mg/l Nitrat mit steigendem Trend vorliegen, sind zu betrachten. Ebenso werden jene Grundwasserkörper einbezogen, bei denen an mindestens einer landwirtschaftlich beeinflussten Messstelle des Ausweisungsmessnetzes der Schwellenwert von 50 mg Nitrat pro Liter überschritten wird oder Messwerte von mindestens 37,5 mgl/l Nitrat mit steigendem Trend auftreten. Grundwasserkörper ohne belastete Messstellen des Ausweisungsmessnetzes sind für die weiteren Schritte nicht relevant.



Abbildung 4: Ausweisungsschema für mit Nitrat belasteten Gebiete *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt)*



Karte 22: Ausweisungsmessnetz und zu betrachtende Grundwasserkörper *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*



Karte 23: Gebietskulisse belastete Gebiete *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Das Ausweisungsmessnetz umfasst mindestens alle landwirtschaftlich beeinflussten Messstellen, welche die Anforderungen nach Anlage 1 der AVV GeA erfüllen,

- des Wasserrahmenrichtlinien-Messnetzes zur Überwachung des chemischen Zustands des Grundwassers,
- des EU-Nitratmessnetzes gemäß Nitrat-Richtlinie zur Überwachung landwirtschaftlicher Landnutzungen und
- des EUA-Messnetzes (Europäische Umweltagentur) zur Überwachung aller Landnutzungen sowie
- sog. „weitere Messstellen" von mit Nitrat belasteten Trinkwassergewinnungsanlagen mit einer Entnahmemenge größer 100 m3.

Alle Messstellen des Ausweisungsmessnetzes sind hydrogeologisch dem oberflächennächsten, wasserwirtschaftlich bedeutsamen Grundwasserleiter zugeordnet. Das Ausweisungsmessnetz wird im Rahmen der kontinuierlichen Verdichtung des WRRL-Messnetzes in den nächsten Jahren auf mindestens eine Messstelle je 50 km2 erweitert.

Vier Grundwasserkörper sind im Bereich des Stadtgebietes belastet (Karte 22) und werden in den folgenden Schritten weiter betrachtet.

Schritt 2: Gibt es in belasteten Grundwasserkörpern unbelastete Teilbereiche?

Innerhalb der zu betrachtenden Grundwasserkörper wird die Ausdehnung der Belastung im Grundwasser ermittelt, sodass unbelastete Teilbereiche herausgenommen werden können (Karte 23). Hierzu werden die Punktinformationen in Form von Nitratmesswerten in die Fläche übertragen. Zur Verdichtung können zusätzlich sog. Zusatzmessstellen herangezogen werden, sofern sie hydrogeologisch dem oberflächennächsten, wasserwirtschaftlich bedeutsamen Grundwasserleiter zuzuordnen sind (v.a. Wasserfassungen und Vorfeldmessstellen der Wasserversorgung). Hierfür kommen Regionalisierungsverfahren zur Anwendung (Bei der aktuellen Ausweisung wurden in Abhängigkeit von der Messstellendichte und –verteilung die deterministischen Verfahren IDW oder VORONOI eingesetzt). Das Datenkollektiv bilden die Daten des Zeitraums 2018 bis 2021, vereinzelt 2022. Der verwendete Nitratmittelwert wird nach Vorgabe der AVV GeA aus den jährlichen Maximalwerten gebildet.

Schritt 3: Gibt es zusätzlich belastete Einzugsgebiete von Trinkwasser- und Heilquellengewinnungen?

Wenn an mindestens einer Wasserfassung oder einer zu überwachenden Messstelle eines Einzugsgebietes von Wassergewinnungsanlagen Nitratkonzentrationen im Rohwasser von über 50 mg/l oder mit mindestens 37,5 mg/l und steigendem Trend vorliegen, werden diese Einzugsgebiete als belastet bewertet und in die Gebietskulisse zusätzlich aufgenommen (Karte 23).

Schritt 4: Welche landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen mit mindestens 20 % im belasteten Gebiet?

An den Grenzen der roten Gebiete gilt, dass eine landwirtschaftlich genutzte Fläche, die mit mindestens 20 % im belasteten Gebiet liegt, mit ihrer Gesamtfläche in die Kulisse einbezogen wird. Liegen weniger als 20 % der Fläche im belasteten Gebiet, fällt die Fläche als Ganzes heraus (Abbildung 5).

1 *Blaue Linie: Grenze der belasteten Kulisse*

2 *≥ **20%** der landwirtschaftlichen Fläche in der Kulisse*
→ Gesamtfläche im roten Gebiet

3 *< **20%** der landwirtschaftlichen Fläche in der Kulisse*
→ Gesamtfläche ist nicht im roten Gebiet

4 *Nicht landwirtschaftliche Fläche:*
→ Grenze rotes Gebiet



Abbildung 5: Abgrenzung der Ränder *(Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft LfL, verändert, Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung; Lizenz: CC BY 4.0)*

Die Gebietskulisse ist im "integrierten Bayerischen Landwirtschaftlichen Informations-System (iBALIS)" des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter anderem im "Kartenviewer Agrar" im Internet veröffentlicht. Spätestens alle vier Jahre wird die Gebietskulisse anhand aktualisierter Nitratmesswerte überprüft und angepasst.

Die in den roten Gebieten erforderlichen landwirtschaftlichen Maßnahmen werden im Kapitel 1.1.7.1 behandelt.

Ausweisung der eutrophierten Gebiete zum 30.11.2022

Flüsse und Seen reagieren empfindlich auf Nährstoffeinträge, insbesondere auf Phosphorverbindungen. Wird zu viel Phosphor in Flüsse und Seen eingetragen, verändern sich diese Ökosysteme. Pflanzen und Tiere werden beeinträchtigt. Dann bezeichnet man ein Gewässer als "eutrophiert".

Die Düngeverordnung legt daher fest, dass in Gebieten mit eutrophierten Gewässern, zusätzliche Anforderungen für die Landbewirtschaftung gelten, wenn der Phosphoreintrag aus landwirtschaftlicher Nutzung einen Anteil von mind. 20 % am Gesamt-Phosphoreintrag hat ("eutrophierte", bzw. gelbe Gebiete). Zur Verringerung des Phosphoreintrags aus anderen Quellen wie Kläranlagen gibt es davon unabhängig ebenfalls Auflagen und Programme.

Im Bereich des Stadtgebietes Nürnberg wurden keine eutrophierten (gelben) Gebiete ausgewiesen. Die Systematik der Ausweisung ist auf den Internetseiten von LfU und LfL erklärt [25].

1.1.7 Maßnahmen in der Landwirtschaft für den Gewässerschutz

1.1.7.1 Optimierung der Düngung

(Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) – Andrea Spirkaneder)

Gesetzliche Regelungen der Düngeverordnung

Die Düngeverordnung wurde im Jahr 2017 novelliert, um den Zielen von Umwelt- und Gewässerschutz gerecht zu werden. Die Verordnung regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln und anderen Stoffen, durch die Nährstoffe auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ausgebracht werden und soll stoffliche Risiken dadurch vermindern. Als wesentlicher Bestandteil der Verordnung wurde die exakte Berechnung des Düngebedarfs an Stickstoff und Phosphat einer Kultur eingeführt. Ziel ist es dabei, nicht nur die Nährstoffbedürfnisse der Kulturen zu betrachten, sondern auch standörtliche Bedingungen miteinzubeziehen, die sich auf das Nährstoffangebot auswirken. Neben der Stickstoffmenge beispielsweise, die jede Kultur für eine optimale Entwicklung benötigt, wird hierbei unter anderem berücksichtigt, wieviel pflanzenverfügbarer Stickstoff (N_{min}) bereits im Boden vorhanden ist. Auch fließt mit in die Berechnungen ein, wieviel aus zuvor angebauten Kulturen oder Zwischenfrüchten nachgeliefert wird und welche Menge an Stickstoff gegebenenfalls durch Ernterückstände der vorangegangenen Kultur wieder zur Verfügung stehen. Der ermittelte Düngebedarf stellt dabei eine standortbezogene Obergrenze dar.

Im Jahr 2020 trat erneut eine überarbeitete Version der Düngeverordnung in Kraft, die insbesondere in mit Nitrat oder Phosphat belasteten Gebieten weitere Maßnahmen vorgibt. In diesen roten und gelben Gebieten gelten zusätzliche Auflagen bezüglich Bewirtschaftung und Düngung, um Nährstoffeinträge in die Umwelt, wie z.B. Nitratauswaschung, weiter zu reduzieren. In den roten Gebieten ist die wohl größte Herausforderung eine reduzierte zulässige N-Düngeobergrenze: Im Durchschnitt der roten Flächen ist der Stickstoffdüngebedarf um 20 % zu kürzen, d.h. nur maximal 80 % des errechneten Düngebedarfs an Stickstoff kann dort gedüngt werden. Eine weitere Maßnahme in den roten Gebieten stellt eine häufigere Ermittlung des aktuell verfügbaren Stickstoffs im Boden (Nmin) dar. Sperrfristen, innerhalb denen das Ausbringen von Düngemitteln nicht gestattet ist, ziehen sich hier über einen längeren Zeitraum. Um eine Schwarzbrache über die Wintermonate zu vermeiden ist zudem der Anbau einer Zwischenfrucht in den roten Gebieten verpflichtend, sofern die Ernte der Kultur vor Oktober erfolgt und damit die Zwischenfrucht noch genügend Zeit zur Etablierung hat. Durch die Bodenbedeckung und Durchwurzelung durch die Zwischenfrucht kann so ein Beitrag zur Reduzierung der Nährstoffauswaschung über den Winter geleistet werden.

Herausforderungen beim Intensivgemüseanbau im Knoblauchsland

Im Stadtgebiet Nürnberg konzentrieren sich die roten, d.h. nitratbelasteten, Flächen auf das Knoblauchsland und den Stadtteil Mühlhof (vgl. Kapitel 1.1.5). Für das kleinstrukturierte Knoblauchsland mit intensivem Gemüseanbau ist es daher notwendig, praxistaugliche Lösungen zur Hand zu haben, um die Ziele der Düngeverordnung zu erreichen und gleichzeitig Erträge und Qualitäten der erzeugten Produkte sicherzustellen. Denn vor allem für Gemüsekulturen birgt eine verminderte Stickstoffdüngung Risiken: Viele Gemüsekulturen benötigen in kurzer Zeit eine hohe Menge an Stickstoff, um entsprechende Erträge und Qualitäten zu erzielen. Hat ein Betrieb in seinem Anbausortiment viele starkzehrende Kulturen wie z.B. Brokkoli, Blumenkohl und weitere Kohlarten, so ist die ausreichende Ernährung seiner Kulturen bei einer reduzierten Düngung in den roten Gebieten eine Herausforderung. Der intensive Anbau bringt mit sich, dass auf einer Fläche nicht nur eine Kultur pro Jahr angebaut wird, sondern üblicherweise zwei bis drei Kulturen aufeinander folgen. Demzufolge ist eine intensive Düngung notwendig, was auch mit erhöhtem Management sowie Zeit und Kosten für die N_{min}-Beprobung einhergeht, da vor jeder Kultur eine Untersuchung des N_{min}-Gehaltes erfolgt.

Eine N_{min} Untersuchung stellt stets nur eine Momentaufnahme dar, der Gehalt an verfügbarem Stickstoff im Boden kann sich schnell ändern. Das ist zum einen darauf zurückzuführen, dass in Abhängigkeit von Temperatur und Bodenfeuchte durch Mineralisation von organischer Bodensubstanz pflanzenverfügbarer Stickstoff freigesetzt wird. Zum anderen fallen im Gemüseanbau je nach Kultur große Mengen an Ernterückständen an, die auf dem Feld verbleiben und die darin enthaltenen Nährstoffe wieder frei geben. Diese können für nachfolgende Kulturen wieder genutzt werden, Menge und Zeitpunkt der Nährstofffreisetzung lässt sich aber nicht beeinflussen und ist ebenso witterungsabhängig, so dass es zu Stickstoffpeaks im Boden kommen kann. Ähnliches gilt für das Ausbringen von organischen Düngemitteln wie z.B. Festmist oder Kompost. Umgekehrt kann bei den vorwiegend sandigen Böden im Knoblauchsland ein Starkregenereignis leicht dazu führen, dass erhebliche Mengen an Nitrat aus dem Boden ausgewaschen werden, die dann der Kultur nicht mehr zur Verfügung stehen und potenziell ins Grundwasser gelangen.

Der Gemüseerzeugerring Knoblauchsland e.V. unterstützt die Betriebe unter anderem bei der Düngeplanung und dem Düngemanagement. Als Dienstleister erarbeiten sie z.B. die Düngebedarfsermittlungen für die Betriebe und helfen dabei, die rechtlichen Vorgaben umzusetzen. Auf der Basis langjähriger Erfahrungen in der Region können sie darüber hinaus Empfehlungen für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung geben. Zudem verfügt der Erzeugerring über ein zugelassenes Nitratlabor, in dem Bodenproben schnell und ohne aufwändigen Versand vor Ort im Knoblauchsland auf ihren Nitratgehalt untersucht werden können. Das ermöglicht auch ein schnelles Ergebnis, was notwendig ist, wenn zwischen der Ernte und Aussaat oder Pflanzung zweier Gemüsekulturen nur wenige Tage liegen und die verfügbare Stickstoffmenge vor der folgenden Gemüsekultur ermittelt werden muss.

Erkenntnisse aus dem MuD-Projekt zur Optimierung der Stickstoffdüngung

Für das Modell und Demonstrationsvorhaben „Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau" (für weitere Informationen siehe Grundwasserbericht 2017, S. 120-121 [12]) wurden in der Modellregion Knoblauchsland verschiedene Testversuche hinsichtlich einer Optimierung der Düngung durchgeführt und mit den Modellbetrieben entsprechende Maßnahmen zu diesem Thema ausgearbeitet. Eine Errungenschaft des Projektes war auch die Zulassung eines Nitratschnelltests für den Gemüseanbau in Bayern (vgl. Abbildung 6). Der Schnelltest wurde im Projekt validiert und dessen Ergebnisse anhand zahlreicher Bodenproben mit den Ergebnissen verschiedener Labore verglichen. Neben dem Nitratlabor des Gemüseerzeugerrings bietet seitdem diese Methode eine weitere Möglichkeit, den aktuellen Gehalt an Nitrat im Boden zeitnah zu erfahren. Der Schnelltest kann vom Betrieb selbst vor Ort durchgeführt werden, ein Ergebnis erhält er innerhalb kürzester Zeit. Somit wird es erleichtert, auch während der Kulturzeit den Nitratgehalt im Boden zu bestimmen und die Aufteilung der Düngegaben darauf abzustimmen oder gar Teildüngungen ganz einzusparen im Falle einer ausreichenden Nitratverfügbarkeit im Boden. Diese kulturbegleitende Düngung stellte sich im Projekt als wichtige Maßnahme einer Optimierung heraus.

Damit einher geht auch das Splitten von Düngegaben auf mehrere Termine. So kann besser auf die Kulturentwicklung eingegangen werden und Puffer können zurückgehalten werden, die im Falle eines Starkregenereignisses verwendet werden können.

Speziell für die sandigen Böden im Knoblauchsland wurde auch die Bedeutung der Humusgehalte herausgearbeitet: Zum einen führen höhere Humusgehalte zu einer höheren Stickstoffnachlieferung, zum anderen verbessern sie aber auch die Bodenstruktur und die Wasserspeicherkapazität des Bodens, sodass Auswaschungsverluste von Nährstoffen reduziert werden. Im Knoblauchsland waren humusreichere Flächen weniger anfällig gegenüber den Auswirkungen von Starkregen, trotz reduzierter Düngung kam es hier nicht zu einem Stickstoffdefizit im Boden. Eine Erhöhung des Humusgehalts kann z.B. durch den Anbau von Zwischenfrüchten sowie den Einsatz von Kompost oder Festmist im Rahmen der Düngeverordnung erreicht werden.

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass vor allem in den Sommermonaten Stickstoff eingespart werden konnte. Aufgrund der höheren Mineralisierung in dieser Zeit erfolgt eine höhere Stickstoffnachlieferung, die bei Kulturen mit längerer Standzeit wie z.B. Knollensellerie ausgenutzt werden kann. Aber auch Kulturen mit kurzer Standzeit, wie z.B. Salat, kamen als zweite Kultur im Jahr lediglich mit einer Grunddüngung aus, eine Kopfdüngung war aufgrund der hohen Nachlieferung aus den Ernterückständen der Vorkultur nicht notwendig (vgl. Abbildung 7). Selbst bei der starkzehrenden Kultur Brokkoli als Folgekultur nach Brokkoli konnte auf 100 kg N/ha verzichtet werden bei gleichem Ertragsniveau. Ein geringerer Stickstoffüberschuss im Boden nach der Ernte war jeweils der Fall. Kaum Einsparpotential wurde dabei bei frühen Kulturen im Jahr aufgrund geringerer Bodenaktivität festgestellt. In einem Versuch sank die Erntequote bei Brokkoli als Erstkultur, einer 20 % reduzierten Düngung und einem Starkregenereignis (ca. 70 mm) auf nur 55 %. Das Stickstoffeinsparpotential ist somit stark abhängig vom Anbauzeitpunkt, der Vorkultur sowie von der Witterung. Da auf Witterungsereignisse kein Einfluss genommen werden kann, diese aber stark die Stickstoffverfügbarkeit und -auswaschung beeinflussen, besteht hier lediglich die Möglichkeit, Vorsorgemaßnahmen zu treffen, d.h. die Stickstoffgaben aufzuteilen, stabilisierte N-Dünger zu verwenden und langfristig Humus aufzubauen.

Nicht zuletzt kann die Vermarktungsform von Wurzel- und Knollengemüse einen bedeutenden Aspekt darstellen: Ein dunkles Grün am Produkt signalisiert zunächst Frische, jedoch geht dies nicht ohne zusätzlichen Stickstoff. Erste Mangelerscheinungen beginnen oft an den Blättern bzw. dem Laub, ohne dass dabei die Qualität des Hauptproduktes leidet (vgl. Abbildung 8). Wird nur das Hauptprodukt, d.h. die Knolle oder Wurzel z.B. von Knollensellerie, Kohlrabi, Radieschen oder Möhre vermarktet, so kann bis zu 40 kg N/ha eingespart werden. Ein Knollensellerie beispielsweise, der im Projekt 20% weniger Stickstoff erhielt, erbrachte nach einem Starkregenereignis zwar marktfähige Erträge und Qualitäten, allerdings konnten die Knollen aufgrund einer Aufhellung des Laubs und den Anforderungen des Handels nicht mehr mit Grün vermarktet werden. Hier sind besonders der Handel und die Verbraucher gefragt.



Abbildung 6: Equipment zur Bodenprobenahme und Aufbereitung für den Nitratschnelltest *(Quelle: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau; LWG)*



Abbildung 7: Düngeversuch im Eissalat *(Quelle: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau; LWG)*



Abbildung 8: Stellenweise Aufhellung des Sellerielaubes bei reduzierter Stickstoffdüngung (rechte Hälfte) nach Starkregen *(Quelle: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau; LWG)*

Zusammenfassung und Ausblick

Die Betriebe im Knoblauchsland müssen sehr hohe Anforderungen an die Düngung und Flächenbewirtschaftung erfüllen. Erfahrungen unter anderem aus dem MuD Projekt zeigen, dass eine bedarfsgerechte und reduzierte Stickstoffdüngung gelingen kann sofern keine Wetterextrema auftreten. Ein Mehraufwand für die Betriebe und ein höheres Risiko von Ernteausfällen ist damit dennoch verbunden und die Gefahr der Nitratauswaschung lässt sich in einem Intensivgemüsebaugebiet nicht vollständig vermeiden. Die Ziele des Grundwasserschutzes können vor allem dann erreicht werden, wenn langfristige Maßnahmen zum Einsatz kommen, die konsequent umgesetzt werden.

Neue Technologien im Bereich Digitalisierung und Sensorik könnten dazu beitragen, die Stickstoffdüngung weiter zu präzisieren. Die teilflächenspezifische Düngung beispielsweise, bei der die Bodenheterogenität einer Fläche und ggf. unterschiedliche Wachstumsentwicklungen berücksichtigt werden können, ist bereits für landwirtschaftliche Kulturen wie Getreide verfügbar. Mithilfe von Sensoren, die die Lichtreflexion, abhängig vom Chlorophyllgehalt der Pflanzen, messen, wird dabei die unterschiedliche Stickstoffversorgung abgeschätzt [26]. Für den Gemüsebau jedoch steht diese Methode derzeit noch nicht in geeigneter Weise der Praxis zur Verfügung. Denn während z.B. auf großflächigen Getreideflächen mit einheitlicher Sortenwahl die Blattfärbung auf die Stickstoffversorgung zurückgeführt werden kann, ist das beim kleinstrukturierten Gemüsebau mit großer Vielfalt, wie er vor allem auch im Knoblauchsland zu finden ist, eine größere Herausforderung. Auf kleinen Flächen werden verschiedene Kulturen und unterschiedliche Sorten kultiviert, die von Grund auf bereits unterschiedliche Blattfärbungen aufweisen. Eventuell kann in Zukunft mit entsprechender Technik gerechnet werden, so widmet sich z.B. das Projekt „GeoSenSys" der Universität Geisenheim derzeit der teilflächenspezifischen Düngung und Bewässerung im Gemüsebau mithilfe eines neuronalen Netzes und dem Ziel, diese Technik sorten- und standortunabhängig einsetzen zu können [27].

Neben dieser Technologie könnte auch der Einsatz von Bodensensoren, die eine einfache und zeitlich hochaufgelöste Echtzeitmessung der pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge im Boden erlauben, dazu beitragen, die Düngung optimal auf das vorhandene Stickstoffangebot abzustimmen und damit Überschüsse zu vermeiden. Entsprechende Produkte sind derzeit allerdings ebenfalls noch nicht marktreif.

1.1.7.2 Vorgaben und Entwicklungen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

(Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Fürth-Uffenheim – Josef Hofbauer)

Allgemeines zu Pflanzenschutzmittelbelastungen im Grundwasser

Belastungen von Grundwasser durch Pflanzenschutzmittel (PSM) und deren Metaboliten (Abbauprodukte) stellen eine bundesweite Problematik dar. So beinhaltet der Themenbericht Pflanzenschutzmittel II des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz vom April 2020 zu Wirkstoffen und Metaboliten im Grundwasser des Landes Niedersachsen [28] folgende Kernaussage: „Auf Basis aller untersuchten bzw. ausgewerteten Messstellen bleiben 39,1 % ohne PSM-Nachweis, bei 12,7 % der Messstellen werden Wirkstoffe (WS) oder relevante Metaboliten (rM) nachgewiesen und bei insgesamt 48,2 % der Messstellen werden Nachweise nicht relevanter Metaboliten (nrM) geführt." Weiter wurde festgestellt, dass 52 % der häufigsten nachgewiesenen Wirkstoffe nicht mehr (aber früher durchaus) zugelassen waren. Die Anwendung solcher Pflanzenschutzmittel liegt also bereits eine Zeit zurück. Somit handelt es sich bei diesen Wirkstofffunden im Grundwasser dem Grunde nach um Altlasten und sie belegen die Langlebigkeit (Persistenz) dieser Stoffe in der Umwelt.

So haben auch die Untersuchungsergebnisse des Sondermessprogrammes des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg (vgl. Kapitel 1.1.4) ein ähnliches Bild ergeben. Bei den nachgewiesenen PSM-Wirkstoffen sind ca. 40 % nicht mehr zugelassen. PSM-Wirkstoffe, deren Gehalte in den Grundwasserproben Grenz- oder Orientierungswerte überschreiten, sind zu 15 % nicht mehr zugelassenen.

Rechtliche Vorgaben für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln sowie der Schutz von Mensch, Tier und Umwelt vor schädlichen Einwirkungen durch Pflanzenschutzmittel ist durch eine ganze Reihe von rechtlichen Regelungen sowohl auf EU- als auch auf nationaler Ebene geregelt.

Gegenüber früheren Jahrzehnten, in denen vor allem die gesicherte Lebensmittelversorgung im Vordergrund stand, wurden die rechtlichen Vorgaben erheblich verschärft und die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt rückten verstärkt in den Fokus.

Die EU-Kommission hat sich im Rahmen des „Green Deal" zum Ziel gesetzt, den Pestizid-Einsatz auf den Äckern der EU bis 2030 zu halbieren.

Der aktuelle EU-Kommissions-Entwurf einer neuen Verordnung zur nachhaltigen Verwendung von Pflanzenschutzmitteln (SUR) zielt auf eine Reduzierung der Nutzung von PSM ab, weniger auf ein Verbot von Stoffen [29]. Weitere EU-Vorschriften zur Thematik Pflanzenschutzmittel greifen unterschiedliche Aspekte auf: Die Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 regelt die Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln und ihren Wirkstoffen sowie weitere Fragen wie Parallelimporte, Kontrollen oder Aufzeichnungspflichten. Die Richtlinie 2009/128/EG enthält Vorschriften über die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und die Verpflichtung der Mitgliedstaaten, nationale Aktionspläne zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu verabschieden. Die Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 verpflichtet die Mitgliedstaaten, Daten über den Absatz und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu erheben und an die Europäische Kommission zu übermitteln. Die Richtlinie 2009/127/EG schreibt vor, dass neue Pflanzenschutzgeräte bestimmte europäische Normen erfüllen müssen und künftig mit den CE-Kennzeichen zu versehen sind.

Die wesentlichen nationalen Regelungen in Deutschland sind das Pflanzenschutzgesetz, die Pflanzenschutz-Geräteverordnung, die Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung, die Pflanzenschutzmittelverordnung, die Pflanzenschutz-Sachkundeverordnung, die Pflanzenbeschauverordnung, die Anbaumaterialverordnung sowie die Bienenschutzverordnung.

Generell gilt im Pflanzenschutzmittelrecht, dass das Verfahren zur Zulassung eines Pflanzenschutzmittels auf EU- oder Bundesebene auch die möglichen Auswirkungen auf das Grundwasser erfasst. So ist die Zulassung nur möglich, wenn die voraussichtliche Konzentration von nicht relevanten Metaboliten (nrM) im Grundwasser < 10 µg/l bleibt. Bei der Zulassung ist für die Risikobewertung für das Grundwasser die maximale Jahresdurchschnittskonzentration im Sickerwasser unter ungünstigen, jedoch realitätsnahen Randbedingungen maßgeblich. Zulassungen werden nur erteilt, wenn Einträge des Wirkstoffes (WS) und der relevanten Metaboliten (rM) von ≥ 0,1 µg/l in das Grundwasser bei sachgerechter und bestimmungsgemäßer Anwendung ausgeschlossen werden können. Für die nicht relevanten Metaboliten (nrM) muss die über Simulationen oder Lysimeterstudien ermittelte maximale Jahresdurchschnittskonzentration unter 10 µg/l liegen [30].

Allgemein fallen durch die in den Zulassungsverfahren immer enger werdenden Spezifikationen im Pflanzenschutz immer mehr Pflanzenschutzmittel für Sonderkulturen aus. Auf breiter Front stehen deshalb schon jetzt gerade beim Gemüseanbau keine geeigneten/zugelassenen Pflanzenschutzmittel mehr zur Verfügung. Zudem nimmt aus diesen, wie auch aus wirtschaftlichen Gründen die Tendenz zu, dass Hersteller von Pflanzenschutzmitteln, für viele dieser Kulturen keine Zulassungen für Pflanzenschutzmittel mehr

beantragen. Denn durch die Spezifikationen sind die Absatzmengen im Verhältnis zum Entwicklungsaufwand oft zu klein.

Landwirte sind in Bezug auf den Pflanzenschutzmittel-Einsatz u.a. zu folgenden Maßnahmen verpflichtet:

Die Allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes, welche seit 2014 EU-weit verpflichtend anzuwenden sind, beinhalten eine Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß begrenzt wird. Vorbeugende Maßnahmen wie die Auswahl standortgerechter Anbausysteme, Kulturarten und Fruchtfolgen haben Vorrang vor Bekämpfungsmaßnahmen. Alle Pflanzenschutzmaßnahmen sind standort-, kultur- und situationsbezogen durchzuführen, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ist auf das notwendige Maß zu beschränken.

Nach geltendem Fachrecht und den Richtlinien zum integrierten Pflanzenbau ist eine sogenannte Ackerschlagkartei zu führen, u.a. mit Aufzeichnungen zum Pflanzenschutz. Diese Aufzeichnungen werden im Rahmen der sogenannten Cross-Compliance-Kontrollen durch die Landwirtschaftsverwaltung kontrolliert. Für Mittelfranken ist zentral das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Roth-Weißenburg i.Bay. für Fachrechts- und Förderkontrollen zuständig.

Im speziellen sind für das Gemüsanbaugebiet Knoblauchsland im Hinblick auf den sparsamen Pflanzenschutzmitteleinsatz außerdem folgende zusätzlich ergriffene Maßnahmen und Aspekte zu nennen:

Der Gemüseerzeugerring Knoblauchsland e.V. verfolgt seit Jahren eine sogenannte To-do-Liste zur Vermeidung kritischer Stoffe im Gemüsebau. Alle an den Lebensmitteleinzelhandel oder an die Franken-Gemüse Knoblauchsland eG liefernden Betriebe in der Stadt Nürnberg sind einem Qualitätssicherungssystem (QS), z.B. QS-GAP, angeschlossen. In den QS-GAP-Richtlinien heißt es unter anderem: „Erzeuger nehmen am QS-Rückstandsmonitoring nach Vorgabe des Leitfadens Rückstandsmonitoring Obst, Gemüse, Kartoffeln teil. Die Umsetzung liegt in der Verantwortung des Bündlers (z.B. Absatzgenossenschaft, Großhändler). Die Probenahme kann jederzeit unangekündigt durch autorisierte Probenehmer erfolgen. Dem Probenehmer muss während der üblichen Betriebszeiten Zugang zu den Flächen, Lagern, Verkaufseinrichtungen und Transportmitteln gewährt werden."

Im Knoblauchsland steigt darüber hinaus die Fläche von Grün- und Blühstreifen und Ausgleichsflächen, auf denen keinerlei Pflanzenschutzmitteleinsatz erfolgt, seit Jahren signifikant an. Ebenso steigt auch der Anteil an biologisch bewirtschafteten Flächen. Einen Beitrag hierzu leisten die Einrichtung der Öko-Modellregion Nürnberg, Nürnberger Land, Roth, das Landesprogramm BioRegio Bayern 2030, im Zuge dessen die Öko-Fläche in Bayern bis zum Jahr 2030 auf 30 Prozent steigen soll, oder auch die Einführung des bayerischen Bio-Siegels, aber auch die Ausweisung von Ausgleichsflächen als Folge des Ausbaus der Gewächshausflächen im Knoblauchsland. Zudem hat die Absatzgenossenschaft Franken-Gemüse Knoblauchsland eG aktuell eine Schwestergenossenschaft Franken-Gemüse Bio eG mit der Marke „GemüseWert- Bio von hier mit dir" gegründet.

In den neuen, großen, modernen Gewächshausanlagen ist aufgrund der permanenten Ernte und der optimalen Steuerung fast kein chemischer Pflanzenschutz mehr möglich oder nötig. Der Insektizideinsatz wurde fast komplett durch Nützlingseinsatz ersetzt. Aus den Gewächshausflächen findet außerdem aufgrund der geschlossenen Kultursysteme kein Wirkstoffaustrag mehr statt.



Abbildung 9: Befallsprognose mittels Farbtafeln *(Quelle: Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Fürth-Uffenheim)*

Der Lebensmitteleinzelhandel als Hauptabnehmer von Gemüse aus dem Knoblauchsland ist grundsätzlich an einer Minimierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes interessiert. Ziel ist es, bei den sogenannten „kleinen Kulturen", also Produkte mit geringeren Verkaufsmengen als Hauptkulturen wie Tomaten oder Gurken, nur noch eine Sorte anzubieten und dann diese aus biologischer Produktion zuzukaufen.

Fazit

Zunächst muss festgehalten werden, dass ohne Pflanzenschutzmittel auf der zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland deutlich weniger Lebensmittel erzeugt werden könnten. Nicht zuletzt deshalb dürfen auch im ökologischen Anbau bestimmte Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden.

Auf Grund der verschärften rechtlichen Vorgaben, aber auch durch die veränderten gesamtgesellschaftlichen Rahmenbedingungen besteht bei der weit überwiegenden Zahl der Gemüsebaubetriebe ein hohes Maß an Sensibilität und Verantwortungsbewusstsein beim Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel. Wo immer möglich, wird heute ganz darauf verzichtet. Diese Entwicklung wird sich fortsetzen. Dazu trägt auch der technische Fortschritt vor allem durch die Digitalisierung bei.

Verbesserungen bei der Belastungssituation mit Pflanzenschutzmitteln im Grundwasser kommen trotz all der vorgenannten positiven Entwicklungen in Bezug auf den Pflanzenschutzmitteleinsatz derzeit möglicherweise noch nicht voll zum Tragen. Denn die genannten Maßnahmen haben erst Anfang der 90er Jahre allmählich begonnen und haben sich erst in den letzten 10 Jahren massiv verstärkt. Veränderungen bzw. Verringerungen der Rückstandsmengen erfolgen aufgrund der Persistenz (Langlebigkeit) der Stoffe teilweise nur sehr träge.

In Zukunft ist also aus all den dargestellten Entwicklungen in jedem Fall mit einer Verminderung des unerwünschten Eintrags zu rechnen.





Abbildung 10 links: Septoria-Blattfleckenkrankheit an Sellerie
Abbildung 11 rechts: Schädlingsbekämpfung durch Nützlingseinsatz im Gewächshaus
(Quelle: Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Fürth-Uffenheim)

1.1.8 Nachsorgender Grundwasserschutz

1.1.8.1 Altlastenbearbeitung

Beginn der Altlastenbearbeitung in Nürnberg

Die Wirtschaftsstruktur Nürnbergs war seit Beginn der Industrialisierung durch Betriebe des metallbe- und verarbeitenden Gewerbes geprägt. So wurden u.a., betriebsbedingt, in den Firmen seit Anfang der 1950er Jahre leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) als Entfettungs- und Lösemittel eingesetzt. Der Umsatz mit diesen Stoffen war enorm. In den Jahren 1960 – 1980 belieferte ein in Nürnberg ansässiger Chemiehandelsbetrieb die Industrie mit jährlich ca. 13.000 Tonnen LHKW.

Bei der Stadt Nürnberg wurde Mitte der 1980er Jahre mit der systematischen Altlastensachbearbeitung begonnen. Ab 1985 erfolgte durch die Mitarbeiter des Umweltamtes die gezielte Überprüfung von umweltrelevanten Gewerbebetrieben (z.B. Metallverarbeitung, Chemische Reinigungen etc.). Zwischen 1986 und 1996 wurden ca. 750 Betriebe kontrolliert, die LHKW einsetzten oder in der Vergangenheit verwendet hatten. Ziel war es die Umgangsbereiche zu lokalisieren, sowie aufgrund der Gegebenheiten des Einzelfalles (Örtlichkeiten, Verbrauch, Sicherheitsvorkehrungen usw.) zu beurteilen, ob mit einer potenziellen Grundwassergefährdung zu rechnen ist. Bei konkreten Verdachtsmomenten, wurde der Firmeninhaber bzw. der Grundstückseigentümer zur Durchführung einer Altlastenerkundung aufgefordert.

Das Gefahrenpotenzial aus dem Einsatz von LHKW stellte sich als gravierend heraus. Mangelnde technische Schutzvorkehrungen und ungenügende Kenntnis über die Stoffeigenschaften, verbunden mit vielfältigen Einsatzfeldern und großen Verbrauchsmengen bestätigten bei einer Vielzahl von Grundstücken den Altlastenverdacht.

Weitere Erkenntnisse zur Schadstoffsituation im Untergrund lieferte im Jahr 1986 die erste flächenhafte Untersuchung der Grundwasserqualität anhand von 144 Brunnen. Insbesondere in Stadtteilen mit historisch hoher Gewerbedichte konnten an zahlreichen Standorten (z.B. Betriebsbrunnen) z.T. deutlich erhöhte LHKW-Belastungen gemessen werden. Andere Schadstoffe, wie beispielsweise PAK, BTEX, MKW oder Schwermetalle waren insgesamt von untergeordneter Bedeutung und auf einzelne Schadensstandorte begrenzt.

Darüber hinaus wurde im Jahr 1987 mit der Erfassung, Kartierung und Untersuchung der im Stadtgebiet vorhandenen Altdeponiestandorte begonnen (35 Stück). Für alle erfassten Altablagerungen wurde eine altlastentechnische Gefährdungsabschätzung durchgeführt und ggf. erforderliche Sanierungs-, Sicherungs- und Monitoringmaßnahmen eingeleitet. Aufgrund von neuen Erkenntnissen zur Schadstoffsituation und im Rahmen von städtebaulichen Planungen war es z.T. erforderlich, die vorhandenen Überwachungs- und Sicherungssysteme an die aktuellen Entwicklungskonzepte anzupassen (vgl. Grundwasserbericht 2017 [12] Kapitel 5.1.5).

Mit Hilfe der drei Projekte – Betriebsüberprüfungen, flächenhafte Untersuchung der Grundwasserqualität und Erkundung von Altablagerungen – wurden erste wichtige Erkenntnisse zur Schadstoffsituation im Stadtgebiet gewonnen und der Grundstein für eine systematische Altlastensachbearbeitung gelegt.

Anfang der 1990er Jahre wurde die Kennzeichnungspflicht von „Flächen mit erheblichen Bodenverunreinigungen“ im Rahmen der Bauleitplanung im BauGB verankert. Auf Grundlage dieser baugesetzlichen Vorgabe wurde in Nürnberg eine systematische Erfassung aller altlastenrelevanten Flächen durchgeführt und eine Altlastendatenbank aufgebaut (vgl. Grundwasserbericht 2017 [12] Kapitel 5.2). In der Altlastendatenbank der Stadt Nürnberg sind heute verschiedenste umweltrelevante Datenquellen zusammengefasst. Sie beinhaltet aktuell Informationen zu rund 5.500 Grundstücken im Stadtgebiet.

Die Altlastendatenbank der Stadt Nürnberg

Die Altlastendatenbank ist nicht nur eine wichtige Grundlage für die Sachbearbeitung im Umweltamt, sondern kann auch Grundstückseigentümern und Informationsberechtigten Hinweise auf eine mögliche ehemalige altlastenrelevante Grundstücksnutzung geben. Altlastenauskünfte werden häufig von Bürgern, Unternehmen sowie Ingenieur- und Planungsbüros im Zusammenhang mit Grundstücksverkäufen, Nutzungsänderungen, Immobilienbewertungen oder Kreditvergaben angefragt. Diagramm 7 zeigt die hohe Nachfrage nach Altlastenauskünften mit zuletzt rund 360 Anträgen pro Jahr (2019 – 2022).

Mit Inkrafttreten des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der zugehörigen Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) im Jahr 1999, bestehen bundeseinheitliche Regelungen für die Altlastenbearbeitung.

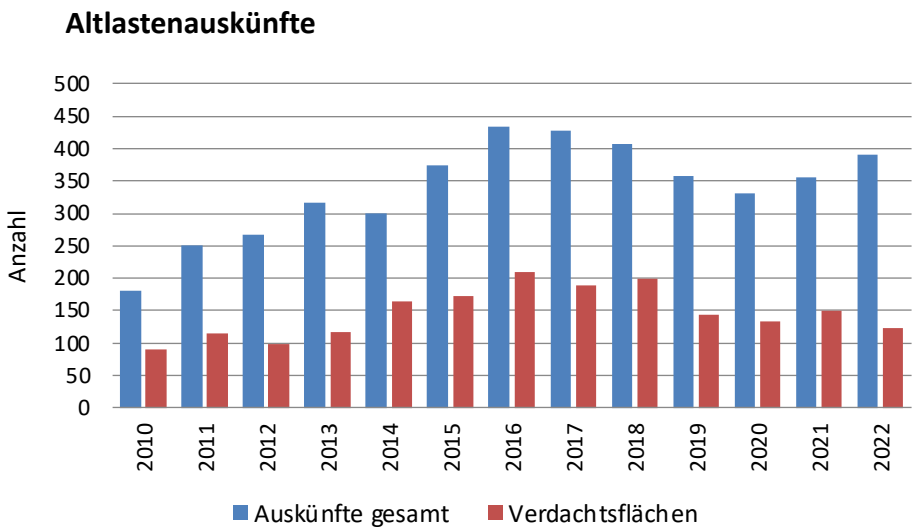


Diagramm 7: Überblick über die Anzahl der Auskünfte aus der Altlastendatenbank
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Aktueller Stand der Altlastenbearbeitung beim Schutzgut Grundwasser

Seit nunmehr 35 Jahren finden im Rahmen der Schadensfall-Sachbearbeitung Untersuchungen auf altlastenrelevanten Standorten statt. Aktuell liegen dem Umweltamt Altlastengutachten für rund 1.500 Grundstücke vor, auf denen Schadstofferkundungen und/oder -sanierungen durchgeführt wurden.

Im Hinblick auf das Grundwassergefährdungspotenzial erfolgte bei 295 Standorten eine Überprüfung von potentiellen Schadensherden durch Grundwasseruntersuchungen.

Auf 114 Standorten wurde ein erhebliches Schadstoffpotenzial nachgewiesen und eine Grundwassersanierung notwendig. Der Parameter LHKW stellt im Stadtgebiet Nürnberg mit großem Abstand die Hauptschadstoffgruppe im Zusammenhang mit altlastenbedingten Grundwasserverunreinigungen dar (vgl. Tabelle 4).

Die restlichen 181 Standorte zeigten entweder nur geringe Belastungen/Frachten, oder es war aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Bedingungen keine effektive hydraulische Sanierung möglich.

Aktuell werden im Stadtgebiet noch 52 Grundwasserreinigungen betrieben bzw. sind in Vorbereitung. 62 Sanierungsmaßnahmen konnten zwischenzeitlich mit behördlicher Zustimmung beendet werden.

Seit 1985 wurden im Nürnberger Stadtgebiet über 5 Mio. m³ Grundwasser gereinigt und alleine über den Grundwasserpfad mehr als 230 Tonnen Schadstoffe aus dem Untergrund entfernt. Durch die derzeit noch aktiven Grundwassersanierungsmaßnahmen wird aktuell noch ein Schadstoffgesamtaustrag von ca. 2,5 Tonnen/Jahr erreicht. Darüber hinaus wurden auf zahlreichen weiteren Standorten Boden- und/oder Bodenluftsanierungen mit Schadstoffentfrachtung durchgeführt.

Die Grundwasserbelastungskarte in Anlage 3 gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Grundwassergefährdung und der diesbezüglichen Altlastenbearbeitung (u.a. Grundwassersanierungsstandorte). In Kapitel 1.1.2 sind die schadstoffbezogenen Auswertungen mit kurzer Erläuterung dargestellt.

Parameter	LHKW	BTEX	MKW	PAK	Schwermetalle	PFAS	**Summe**
Anzahl	73	21	9	5	5	1	**114**

Tabelle 4: Übersicht der Grundwassersanierungen, differenziert nach Schadstoffgruppen, Stand 08/2023
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

1.1.8.2 Auswirkungen der novellierten BBodSchV auf die Altlastensachbearbeitung

Einleitung

Im Jahr 1999 wurde mit Inkrafttreten des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) der rechtliche Rahmen für den Umgang mit schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten vorgegeben. Im Jahr 2001 wurde dann in Bayern durch das damalige Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) das Merkblatt 3.8/1 [4] als fachliche Bewertungsgrundlage zur Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Gewässer eingeführt.

Mit der seit dem 01.08.2023 in Kraft getretenen Neufassung der BBodSchV als Teil der sogenannten „Mantelverordnung" wurden die im Jahr 1999 erlassenen Regelungen nach mehr als zwei Jahrzehnten Vollzugserfahrung an den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse angepasst.

Zeitgleich veröffentlichte das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) das novellierte Merkblatt 3.8/1 „Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen – Wirkungspfad Boden-Grundwasser" [31], das unter Berücksichtigung der neuen gesetzlichen Regelungen fachlich überarbeitet und in wesentlichen Punkten ergänzt wurde.

Neuerungen der BBodSchV

Physikalische Einwirkungen:

Die Neufassung der BBodSchV greift in § 3 Abs. 1 Nr. 3 erstmals physikalische Einwirkungen durch mechanische Beanspruchung (Bodenverdichtung) im Sinne einer schädlichen Bodenveränderung auf. Neu ist auch, dass die zuständige Behörde bei Baumaßnahmen mit einer Flächengröße von mehr als 3.000 m² eine bodenkundliche Baubegleitung fordern kann (§ 4 Abs. 5 BBodSchV).

Einbringen von Material unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht:

Eine wichtige Anpassung in der novellierten BBodSchV stellt der erweiterte Regelungsbereich an das Auf- und Einbringen von Materialien unterhalb oder außerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht dar, so dass insbesondere auch Verfüllungen von Abgrabungen und Tagebauen miterfasst sind (§ 8 BBodSchV). Grundsätzlich ist (ohne wasserrechtliche Erlaubnis) nur der Wiedereinbau von unbelastetem Boden zulässig, welcher die entsprechenden Vorsorgewerte gemäß Anhang 1, Tab. 1 – 3 BBodSchV einhält und max. zehn Volumenprozent Fremdbestandteile beinhaltet. Alternativ ist auch die Verwertung von Material der Einbauklasse BM-0 / BG-0 gemäß Ersatzbaustoffverordnung möglich. In gewissem Umfang sind unter Berücksichtigung der (hydro) geologischen Standorteigenschaften auch Abweichungen von den vorgenannten Kriterien möglich (§ 8 Abs. 6 und 7 i.V.m. Anhang 1, Tab. 4 und 5 BBodSchV).

Länderöffnungsklausel:

Aus Sicht des Freistaates Bayern wird besonderes Augenmerk auf die sogenannte Länderöffnungsklausel (§ 8 Abs. 8 BBodSchV) gelegt. Demnach können die Bundesländer auch andere Materialien, wie z.B. Bauschutt und Gleisschotter, zur Verfüllung von Gruben und Brüchen zulassen. Entsprechende Regelungen zur Weiterführung des bayerischen Verfüll-Leitfadens (LVGBT) aus 2001 wurden mit Schreiben des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) vom 06.07.2023 bekanntgegeben.

Nachhaltigkeitsaspekt bei der Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung:

Bei der Durchführung einer Sanierungsuntersuchung mit Variantenstudie (§ 16 BBodSchV) zur Festlegung einer verhältnismäßigen Sanierungsmaßnahme (ggf. Maßnahmenkombination), sind neben fachlichen und technischen Aspekten auch die Wirtschaftlichkeit und insbesondere die Nachhaltigkeit der Methode zu prüfen.

Probenahme:

Hinsichtlich der Probenahme (§ 19 BBodSchV) erfolgt eine deutliche Aufwertung, der nach § 18 BBodSchG zertifizierten Altlastensachverständigen und Untersuchungsstellen. Bodenschutzrechtliche Untersuchungen sind zukünftig durch zugelassene Gutachter zu entwickeln, zu begründen, zu begleiten und zu dokumentieren. Die Probenahme im Gelände selbst, ist durch eine akkreditierte bzw. notifizierte Untersuchungsstelle durchzuführen. Die strengeren Anforderungen an die Probenahme unterliegen einer fünfjährigen Übergangsfrist bis zum Inkrafttreten der Akkreditierungs- bzw. Notifizierungspflicht (§ 28 Abs. 2 BBodSchV).

Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte:

Weiterhin wurden die Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte an den aktuellen Stand der Erkenntnisse angepasst und z.T. auch deutlich erweitert. Im Rahmen der Aktualisierung wurden zusätzliche Prüfwerte für eine Reihe von chlororganischen Verbindungen sowie sechs sprengstofftypischen Verbindungen (STV) und sieben per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) aufgenommen.

2:1 Elution:

Eine der größten Änderungen ergibt sich aus der Umstellung der Elutionsverfahren zur Überprüfung der Schadstofflöslichkeiten. Die bisherige Praxis vor August 2023 sah in den meisten Fällen einen Schüttelversuch mit einem Wasser zu

Feststoffverhältnis von 10:1 vor (DEV S4-Verfahren). Nach der neuen BBodSchV können sowohl Säulenkurztests als auch Schüttelversuche mit einem Wasser zu Feststoffverhältnis von 2:1 durchgeführt werden, die als gleichwertig eingestuft sind.

Änderungen und Ergänzungen im Merkblatt 3.8/1

Prüfwerte (Eluate) am Ort der Probenahme:

Eine wesentliche Änderung stellt die nunmehr primäre Bewertung einer möglichen Grundwassergefährdung auf Basis von Eluat-Analysen (W/F 2:1) am Ort der Probenahme (OdP) mit einer anschließenden Sickerwasserprognose zur Abschätzung der zu erwartenden Konzentration am Ort der Beurteilung (OdB) dar (vgl. Abbildung 12). Die Untersuchung von Feststoffproben ist im Vorfeld nicht mehr zwingend vorzunehmen. Das bekannte Wertesystem von Hilfswert-1 und -2 für Bodenfeststoffuntersuchungen entfällt größtenteils und wird durch die Prüfwerte (Eluate) am Ort der Probenahme (OdP) ersetzt.

Einmischungsprognose:

Mit der Einmischungsprognose lässt sich für den obersten Meter des Grundwassers berechnen, ob die mit dem Sickerwasser eingetragene Schadstofffracht aus der ungesättigten Zone zu einer Prüfwertüberschreitung in der wassergesättigten Zone führt. Über die Einmischungsprognose wird keine reale, sondern die sich in einer theoretischen Einmischungszone (vgl. Abbildung 12) einstellende Schadstoffkonzentration abgeleitet („Rührkesselmodell"). Durch die Einmischungsprognose wird die in erster Linie verbal-argumentativ durchgeführte Sickerwasserprognose um einen mathematischen Ansatz ergänzt und konkretisiert.

Geringe Schadstofffracht, lokal begrenzt und auf Dauer:

Gemäß dem novellierten Merkblatt 3.8/1 sind für eine abschließende Gefährdungsabschätzung die Verhältnismäßigkeitskriterien „geringe Schadstofffracht", „lokal begrenzt" und „auf Dauer" zu berücksichtigen (vgl. § 15 Abs. 8 BBodSchV).

Diese drei Kriterien sollen bei der der Bewertung von Untersuchungsergebnissen und bei der Entscheidung über die zu treffenden Maßnahmen berücksichtigt werden. Bei deren Einhaltung können weitere Sanierungsmaßnahmen als unverhältnismäßig beurteilt werden.

Das Kriterium „lokal begrenzt" ist nicht erfüllt, wenn die Belastung im Grundwasser den Stufe-1-Wert auf einer horizontalen Fläche von mehr als 1.000 m² überschreitet (vgl. Abbildung 13).

Eine bedeutsame Neuerung ist insbesondere die Nennung von konkret abgeleiteten Werten für „geringe Schadstofffrachten" (in der Einheit g/d). Die Schadstofffracht ist die mit dem Sickerwasser oder dem Grundwasser natürlich transportierte Schadstoffmenge pro Zeiteinheit. Sie kann für unterschiedliche Bezugsebenen, z.B. den Übergangsbereich von der ungesättigten in die gesättigte Zone, oder verschiedene vertikale Ebenen im Grundwasserabstrom berechnet werden (vgl. Abbildung 14).

Die Schadstofffrachten im Sickerwasser bzw. im Grundwasserabstrom dürfen sich, wie die Schadstoffkonzentrationen am Ort der Beurteilung, auch zukünftig nicht maßgeblich gegenüber der aktuellen Situation bzw. der aktuellen Prognose erhöhen, um das Kriterium „auf Dauer" einzuhalten. Hierbei muss die Argumentation hinreichend konservativ erfolgen, die getroffenen Annahmen begründet und Unsicherheiten benannt werden.

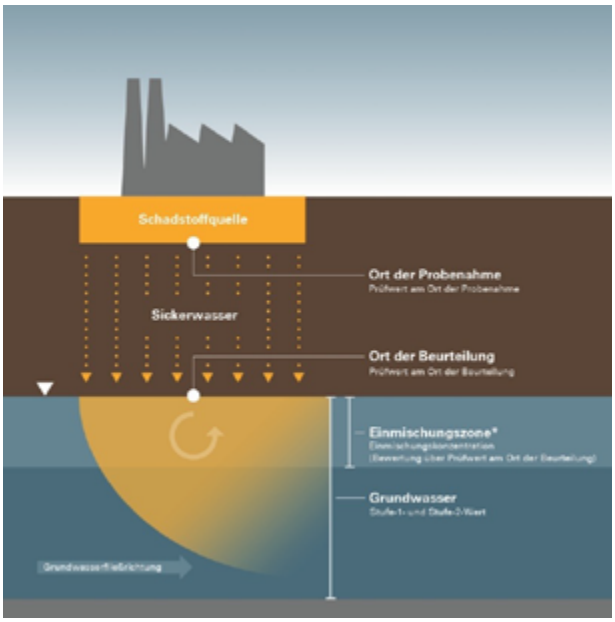


Abbildung 12: Wichtige Begriffe bei der Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Referat 96)



Abbildung 13: schematische Darstellung der horizontalen Ausdehnung von Grundwasserbelastungen
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Referat 96)

Auswirkungen auf die Altlastensachbearbeitung

Durch die Umstellung auf die 2:1-Elution im Labor wird grundsätzlich mehr Untersuchungsmaterial für die Analytik von Bodenproben benötigt. Es ist daher davon auszugehen, dass für die Gewinnung einer ausreichenden Bodenmenge im Rahmen einer Altlastenuntersuchung mittels Kleinrammbohrungen insgesamt mehr Aufschlüsse benötigt werden und somit bei der Auftraggeberseite höhere Kosten für die Erkundung anfallen.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass je nach Betrachtungsweise (Bodenschutz- / Abfallrecht) weiterhin differierende Elutionsverfahren zulässig sind. Im Gegensatz zur BBodSchV und Ersatzbaustoffverordnung (jeweils 2:1) ist bei der Deklaration nach Deponieverordnung oder Bayerischem Verfüll-Leitfaden (LVGBT) weiterhin die Elution mit einem Wasser zu Feststoffverhältnis von 10:1 vorgeschrieben.

Für bodenschutzrechtliche Untersuchungen werden mit dem Säulenkurztest und dem Schüttelversuch zwei gleichwertige Analysenmethoden angeboten, die ggf. zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. In der Folge ist nicht auszuschließen, dass je nach Parameter das Verfahren bevorzugt wird, welches in der Praxis zu den jeweils niedrigeren Schadstoffkonzentrationen führt.

Abschließend sei noch erwähnt, dass im Hinblick auf die Verwertung von Bodenmaterial (Wiedereinbau) schwerpunktmäßig Feststoffuntersuchungen zur Beurteilung herangezogen werden. In Zusammenhang mit dem Ein- und Aufbringen von natürlichem Bodenmaterial oder der in situ-Untersuchung durch Flächenmischproben spielt das Eluat-Ergebnis somit nur eine untergeordnete Rolle.

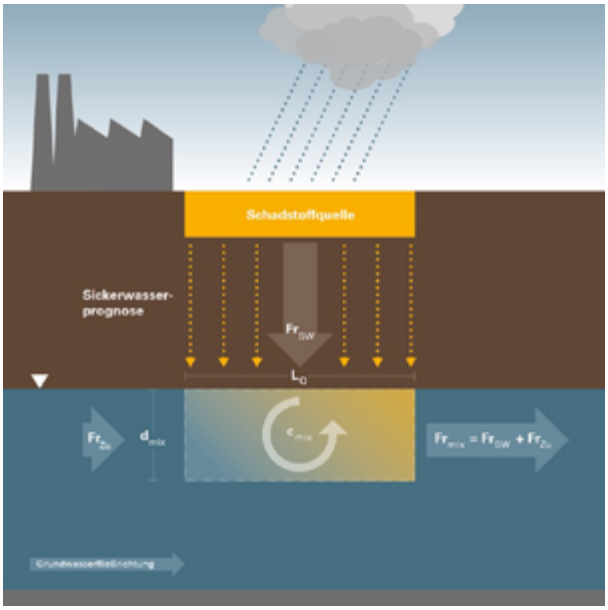


Abbildung 14: Modelhafte Darstellung der Schadstofffrachten, Fr SW= Fracht Sickerwasser, Fr Zu= Fracht Zustrom
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Referat 96)

Durch die Parallelität der oben genannten Verfahren und Untersuchungsmethoden, mit z.T. unterschiedlichen Parameterumfängen, ergibt sich aus behördlicher Sicht ein erhöhter Prüfaufwand, insbesondere im Rahmen von Baumaßnahmen bzw. Nutzungsänderungen, bei denen vielfältige Fragestellungen zu berücksichtigen sind.

Auf Grundlage der neuen Regelungen nimmt u.a. der Aspekt der Nachhaltigkeit (§ 16 Abs. 2 BBodSchV) eine gewichtige Rolle bei der Verhältnismäßigkeitsprüfung ein. Folglich sind bei der Beurteilung einer Sanierungsmaßnahme, hinsichtlich der Dekontamination von Boden und Grundwasser, auch energetische und klimatische Kriterien, wie z.B. CO_2-Freisetzung und der Verbrauch von fossilen Rohstoffen, zu berücksichtigen. Bei dieser ganzheitlichen Betrachtung ergibt sich in der Praxis eine gewisse Konkurrenz zwischen verschiedenen Schutzgütern (z.B. Grundwasser / Atmosphäre), die zukünftig verstärkt in die Verhältnismäßigkeitsprüfung mit einfließt.

Durch die Einführung der fachlichen Kriterien „geringe Schadstofffracht", „lokal begrenzt" und „auf Dauer" müssen insbesondere langlaufende Grundwassersanierungsmaßnahmen unter Verhältnismäßigkeitsaspekten teilweise neu beurteilt werden.

Im Rahmen der Orientierenden Untersuchung und insbesondere der Detailuntersuchung sind i.d.R. umfangreiche Grundwasseruntersuchungen erforderlich, um eine abschließende Gefährdungsabschätzung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser, unter Berücksichtigung der o.g. drei Fachkriterien, durchführen zu können. Folglich ist davon auszugehen, dass einerseits der Untersuchungsumfang in der Erkundungsphase durch die Errichtung von (mehreren) Grundwassermessstellen (im Schadenszentrum, sowie ggf. weitere im Ab- und Zustrom) deutlich erhöht wird. Andererseits wird durch die neue Frachtbetrachtung die „Schwelle" für die öffentlich-rechtliche Notwendigkeit zur Umsetzung von aktiven Sanierungsmaßnahmen erhöht.

1.2 Grundwassertemperatur in Nürnberg – Geothermische Nutzung

1.2.1 Untersuchung und Überwachung der Grundwassertemperatur

Im städtischen Raum ist der Grundwasserkörper nicht nur qualitativen und quantitativen Beeinträchtigungen (vgl. Kapitel 1.1 und 1.3) ausgesetzt, sondern auch verschiedenen belastenden Temperatureinflüssen. Das Thema Grundwassertemperatur ist erst relativ spät verstärkt in den Fokus der Grundwasserüberwachung gerückt. Ihm wird inzwischen seit rund 15 Jahren vor allem in Städten vermehrt ein Augenmerk geschenkt. Gründe hierfür sind (vgl. Abbildung 15):

- eine zunehmende Belastungssituation des Untergrundes mit wärmeabgebenden Tiefbauwerken wie Keller und v.a. Tiefgaragen, U-Bahn-Tunnel, Abwasserkanäle mit zunehmender Bautätigkeit und Nutzungsintensität
- urban verstärkte Aufheizung der Innenstädte und deren Oberflächen sowie der bodennahen Atmosphäre (Urbane Hitzeinsel), verknüpft mit einer verringerten Grundwasserneubildung, wirken sich bereits nachweislich auch bis in größere Tiefen in den Untergrund aus; auch die Klimaerwärmung durch Klimawandel und damit verbunden veränderte Sonneneinstrahlung verstärken diesen Effekt [32]; [33]
- zunehmende Nutzbarmachung der Untergrundtemperatur zum Kühlen und zum Heizen (Geothermie) verbunden mit Temperatureinträgen
- mögliche qualitative Auswirkungen auf das Grundwasser auf Grundwasserökologie und Wasserchemie

Im Rahmen des Grundwassermonitorings der Stadt Nürnberg werden bereits seit 2012 in den Grundwassermessstellen des Messnetzes die Grundwassertemperaturen über das gesamte Stadtgebiet tiefenorientiert in 5-m-Schritten gemessen. Dies geschieht bislang noch unregelmäßig im Zuge der Messstellenüberwachung ca. alle 3 Jahre. Ergänzend sind die meisten der 30 Datenloggermessstellen mit einem Temperaturfühler ausgestattet. Die Temperatur wird dort soweit möglich in einer Tiefe von 20 m gemessen, einer Tiefe, in der sich die jahreszeitlichen Lufttemperaturschwankungen nicht mehr auswirken. Es liegen dort teilweise Zeitreihen über einen Zeitraum von mittlerweile 10 Jahren vor. Eine erste Auswertung der gewonnenen Monitoringdaten wurde bereits im Grundwasserbericht 2017 [12] vorgestellt.

Parallel wurden zwischen 2015 und 2021, unter Einbeziehung der Daten aus dem Nürnberger Monitoringprogramm und mittels zahlreicher eigener Erhebungen durch die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Nürnberg (FAU) im Rahmen eines Forschungsprojektes und einer Doktorarbeit von Julian Schweighofer [33] am GeoZentrum Nordbayern, die Temperaturverhältnisse im Untergrund Nürnbergs erkundet. Diesem Umstand ist zu verdanken, dass Nürnberg bereits heute einen sehr guten Gesamtüberblick über die Wärmeverteilung im Untergrund hat. Die Ergebnisse sind in Kapitel 1.2.2 zusammengestellt und die Zusammenhänge erläutert.

In einer Untersuchung in Berlin in 2018 [35] wurde festgestellt dass sich das Phänomen der Untergrunderwärmung seit einigen Jahren verstärkt. So erlangen flächendeckende Kenntnisse über und die Überwachung der Grundwassertemperatur zunehmend an Bedeutung, vor allem im Zusammenhang mit der Planung von Geothermie-Anlagen, aber auch im Zusammenhang mit dem Grundwasserschutz. Im Rahmen eines Monitorings lassen sich jeweils aktuelle erste Aussagen über geothermische Potenziale und urbane Hitzefelder im Grundwasser machen und entsprechende Grundlagen bereitstellen (Kapitel 1.2.2). So wird zum Beispiel insbesondere dort, wo auch noch in größeren Tiefen eine deutliche Erwärmung des Grundwassers nachgewiesen ist, eine Nutzung des Grundwassers für Heizzwecke besonders günstig sein, dagegen sollte eine Errichtung einer Anlage für Kühlzwecke in einem solchen urbanen Wärmefeld genau überdacht werden.

Die Bedarfe einer geothermischen Nutzung des Nürnberger Untergrundes steigen stetig (vgl. Kapitel 1.2.3). Das Temperaturdelta, mit dem Wasser abgekühlt bzw. erwärmt

zurückgeführt werden darf, wird in Abstimmung mit dem staatlichen Wasserwirtschaftsamt Nürnberg fachlich ermittelt und verbindlich in der wasserrechtlichen Genehmigung festgeschrieben. Es kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass durch die genehmigten Temperatureinwirkungen, abhängig von der hydrogeologischen Situation des Grundwasserzu- und -abstroms, die Temperaturveränderungen im Untergrund nur kleine Reichweiten haben. Doch bei zunehmender Dichte der geothermischen Anlagen kann es zu Konkurrenzsituationen kommen (vgl. Kapitel 1.2.4). Daher sind regelmäßige Aktualisierungen des Kenntnisstandes im Zusammenhang mit der Planungs- und Genehmigungspraxis von zentraler Bedeutung.

Aus den vorhandenen Erkenntnissen kann für das weitere Grundwassermonitoring ein konkretes Konzept zur Überwachung der Grundwassertemperatur erstellt werden. Wichtige Hinweise für eine Konzepterstellung liefern die Forschungsarbeiten des GeoZentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (GZN). Auf Basis einer guten Zusammenarbeit zwischen dem GZN und der Stadt Nürnberg wird der Wissenstransfer sichergestellt.

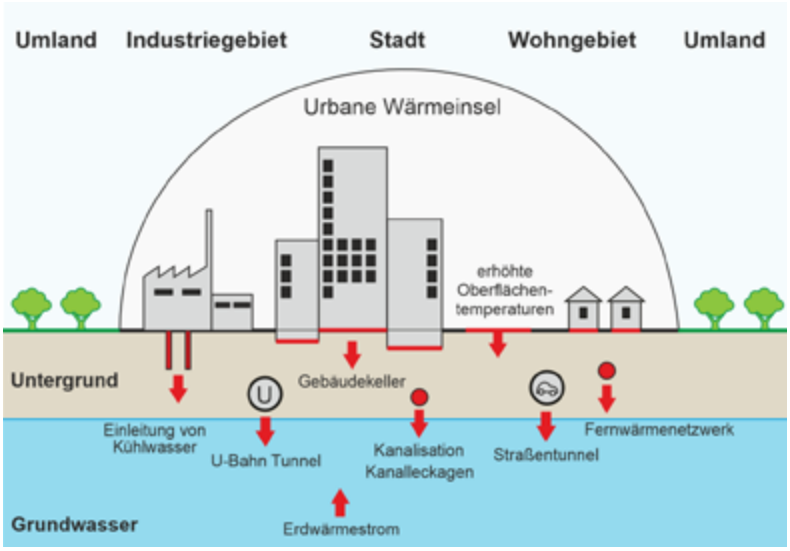


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Beeinflussung der Grundwassertemperatur. *(Quelle: K. Menberg et.al. [34])*

1.2.2 Grundwassertemperaturverteilung in Nürnberg

(GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen Nürnberg – Dr. Julian Schweighofer)

Für die Stadt Nürnberg wurde von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg im Projektzeitraum von 2015 – 2021 die urbane Wärmeinsel des oberflächennahen Untergrundes mittels eines umfassenden Grundwassertemperatur-Monitorings erkundet. Das Projekt zielte darauf ab, die räumliche und zeitliche Entwicklung dieser Temperaturanomalie im oberflächennahen Aquifer zu erfassen und das geothermische Potenzial der oberflächennahen Bodenschichten auf Basis der Temperaturanomalie zu quantifizieren. Grundwasser- und Bodentemperaturen sind für geothermische Systeme eine entscheidende Größe, da sie auf den Wirkungsgrad der Anlagen Einfluss nehmen. Im Verlauf des Projektes wurden deswegen von 03/2019 bis 11/2021 an über 150 Grundwassermessstellen ganzjährig Temperaturmesswerte aufgenommen, anhand derer die thermische Situation des oberflächennahen Untergrundes mit bislang unerreichter Genauigkeit abgeleitet werden konnte. Für den Standort Nürnberg wurde eine thermische Anomalie festgestellt, die weiträumig Boden- und Aquifertemperaturen von > 14 °C überschreitet, punktuell sind sogar Temperaturspitzen von über 16 °C möglich. Der thermische Wärmeüberschuss der oberflächennahen Bodenschichten von 0 – 20 m unter Geländeoberkante konnte mit 1,6*10^10 MJ beziffert werden. Damit könnte für 1 Jahr der Wärmeenergieverbrauch von 202.629 4-Personen-Einfamilienhäusern gedeckt werden. Über das Langzeit-Monitoring konnte zudem nachgewiesen werden, dass sich innerhalb des Projektzeitraums die Boden- und Aquifertemperaturen jährlich im Mittel um 0,07 K erhöht haben. Dadurch lässt sich festhalten, dass die Urbane Wärmeinsel in ihrem aktuellen Zustand nur als Momentaufnahme gesehen werden kann und eine Bodenerwärmung weiterhin stattfindet.

Einleitung

Grundlagen – Thermisches Regime des Untergrundes

Der geothermische Gradient ΔT/Δz in [K/m] beschreibt die Temperaturzunahme innerhalb der Erdkruste von der Erdoberfläche in die Tiefe. Seine Größe ist standortabhängig, wobei im Mittel eine Temperaturzunahme von 0,3 K pro 10 m auftritt [36]. Das thermische Regime der oberflächennahen Bodenschichten wird zudem durch unterschiedliche atmosphärische und bodenspezifische Parameter, wie der Wärmestrahlung der Sonne und der Wärmeleitfähigkeit des Bodens, bestimmt. Boden- und Grundwassertemperaturen zeigen dadurch einen jahres-zeitenabhängigen Temperaturgang. Der Bereich, in dem diese Temperaturschwankungen auftreten, wird als „Zone der saisonalen Schwankung" bezeichnet. Die Amplitude dieser periodischen Temperaturschwankungen nimmt mit der Tiefe ab, so dass ab 10 – 20 m unter Geländeoberkante ganzjährig konstante Temperaturen zu erwarten sind (vgl. Diagramm 8). Als anthropogen unbeeinflusste Jahresmitteltemperaturen der oberflächennahen Bodenschichten können in etwa die Jahresmittel der Lufttemperaturen angenommen werden. Für Nürnberg entspräche das etwa Temperaturen von 10 – 11 °C. Jahresmitteltemperaturen von oberflächennahen Bodenschichten und Aquiferen, die über diesem Schwellenwert liegen, sind zumeist Folge von anthropogen bedingten Wärmeübertragungsprozessen.

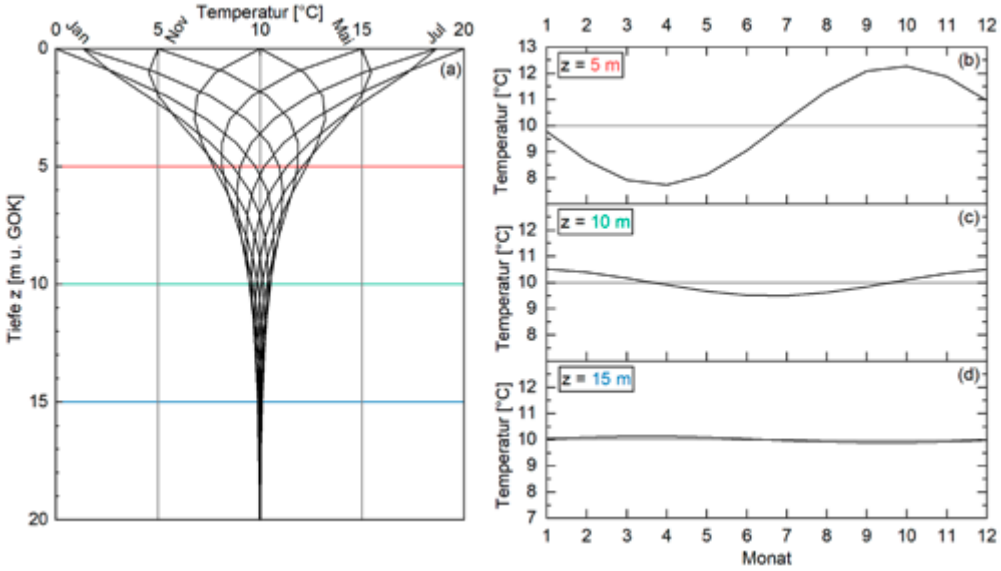


Diagramm 8: Diagramme über den jahreszeitlichen Temperaturgang der oberflächennahen Bodenschichten bis 20 m unter Geländeoberkante.

Urbane Wärmeinsel des Oberflächennahen Untergrundes

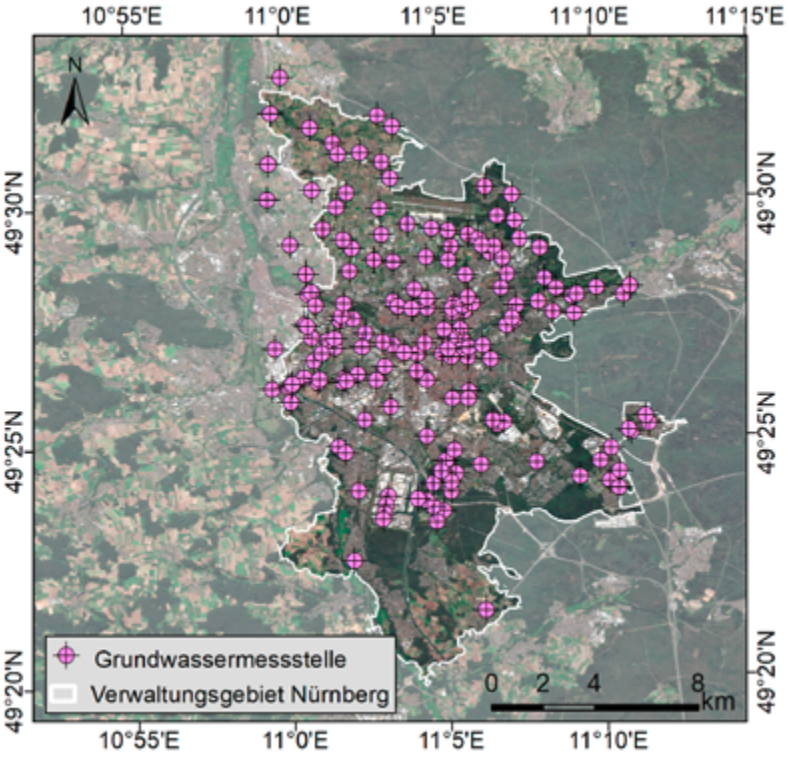
Die städtisch bedingte Erwärmung des Untergrundes beruht im Wesentlichen auf der Reduktion von kühlenden, natürlichen und der Anwesenheit von wärmeinduzierenden, anthropogenen und atmosphärischen Prozessen. An der Landoberfläche führt beispielsweise Änderung der Landnutzung zu Änderungen bei den Landoberflächentemperaturen und damit zu einer Änderung des Energiehaushalts des Untergrundes. Landoberflächen erfahren beim Übergang von Grünfläche über vegetationsarmen Boden zu Asphalt eine Temperaturanhebung, da einfallende Strahlung auf Asphalt stärker absorbiert wird als auf Grünflächen. Außerdem ist der Kühleffekt aufgrund des Rückgangs der Biomasse und des Fehlens von biologisch-physikalischen Prozessen wie Evapotranspiration gedämpft. Ferner tragen innerstädtisch der advektive Wärmetransport über Kellergeschosse und die im Untergrund verlegte Infrastruktur (Abwasser-, U-Bahn- und Fernwärmenetzwerk) sowie die geothermische Nutzung (für Kühlzwecke) des Untergrundes direkt zur Bodenerwärmung bei.

Urbane Wärmereservoirs als Potenzial für geothermische Systeme

Geothermische Systeme nutzen die in der Erdkruste gespeicherte thermische Energie. Als unerschöpfliche Energiequelle zählt die Nutzung der Geothermie zu den regenerativen Energieformen mit geringem CO_2-Bedarf. Geothermische Systeme werden in oberflächennahe (< 400 m Bohrtiefe) und tiefe (> 400 m Bohrtiefe) geothermische Systeme untergliedert. Der urbane Wärmeinsel-Effekt hat aufgrund seiner oberflächennahen Ausprägung deswegen überwiegend Einfluss auf die oberflächennahen geothermischen Systeme. Eine Bemessung der Anlageneffizienz erfolgt beim Heizbetrieb mit dem CoP-Wert (Coefficient of Performance), der als Quotient aus der Nutzleistung QN der Anlage und der investierten Energie der elektrischen Leistung W der Wärmepumpe definiert ist. Je höher der CoP ausfällt, desto weniger elektrische Energie muss für die gleiche Nutzleistung investiert werden und desto geringer sind die Betriebskosten der geothermischen Anlage. Urbane Wärme kann dadurch das technisch nutzbare, geothermische Potenzial signifikant steigern.

Untersuchungsgebiet

Das Grundwassermessnetz (vgl. Karte 24) umfasste das gesamte Nürnberger Verwaltungsgebiet mit Ausnahme des Stadtteils Brunn. Grundwassermessstellen sind überwiegend als 4- bis 5-Zoll-Messstellen aufgebaut. Ihre Ausbautiefe variiert und liegt überwiegend zwischen 5 m und 30 m Tiefe. Grundwassermessstellen wurden aus dem Messprogramm entnommen, sobald die Ausbautiefe der Messstelle weniger als 5 m unter GOK betrug. In diesen geringen Messtiefen führt der jahreszeitliche Temperaturgang als Störgröße zu hohen Ungenauigkeiten bei den aufgenommenen Messwerten. Der Bestand an Grundwassermessstellen betrug somit etwa 160 Stück.



Karte 24: Übersichtskarte über die geographische Lage der Stadt Nürnberg in Deutschland und über die räumliche Verteilung der Grundwassermessstellen *(Quelle: J. Schweighofer; Luftbild: ESA hompage, Satellit Sentinel 2A)*

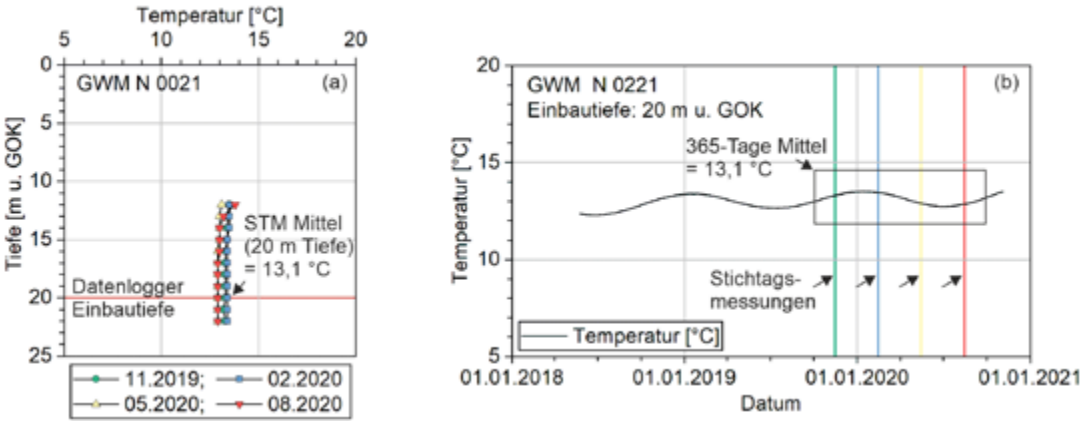


Diagramm 9: Graphische Darstellung der Ergebnisse zweier unterschiedlicher Methoden zur Messung von Grundwasser-temperaturen. Linkes Diagramm (a): Vier Vertikale Temperatur-Tiefenplots im Zeitraum von November 2019 bis August 2020 im 3-monatigen Abstand, aufgenommen mit einem TLC-Meter. Rechtes Diagramm (b): Temperatur-Ganglinie, aufgezeichnet mit einem Temperatur-Datenlogger bei einer Einbautiefe von 20 m u. GOK und über einen Zeitraum von Mai 2018 bis November 2020. Farbig als vertikale Referenzlinien dargestellt sind die Termine der Stichtagsmessungen. Beide Methoden (a) und (b) liefern für die Tiefe von 20 m u. GOK eine identische Jahresmitteltemperatur von 13,1 °C. Position 49° 28′ N, 11° 5′ O / Nürnberg Innenstadt *(Quelle: J. Schweighofer).*

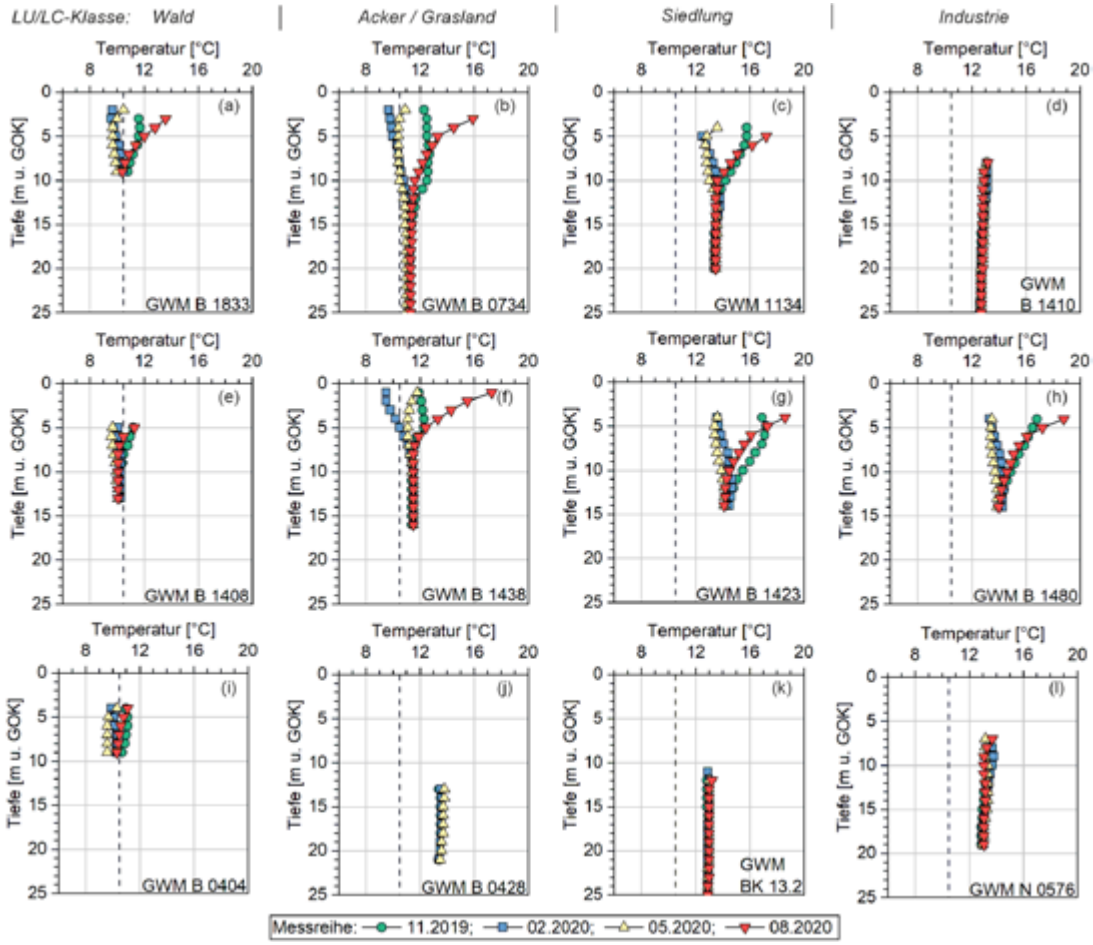


Diagramm 10: Vertikale Temperatur-Tiefenprofile ausgewählter Grundwassermessstellen, klassifiziert nach der Landnutzung (LU/LC). Der zeitliche Abstand der Messungen beträgt 3 Monate. Als vertikale Referenzlinien ist der Temperatur-Schwellenwert T0 = 10,5 °C eingezeichnet, der als Grenze zwischen „natürlichen" und „anthropogen überprägten" Grundwassertemperaturen angesehen wird *(Quelle: J. Schweighofer)*

Methodik des Grundwassertemperatur-Monitorings

Für das Monitoring der Grundwassertemperaturen wurden zwei Methoden zur Datenerhebung herangezogen:

- Kontinuierliche Messdatenerfassung mittels in spezifischen Tiefen fest installierter Datenloggern.
- Aufnahme von vertikalen Temperaturprofilen mit einem Temperatur-Lichtlot zu Stichtagen

Die Messreihen dieser beiden Methoden, erhoben an der gleichen Messstelle, sind beispielhaft in Diagramm 9 graphisch gegenübergestellt.

Vertikale Temperaturprofile

Während der Messkampagnen, die im monatlichen bis 4-monatlichen Turnus stattfanden, erfolgten die Messungen der Grundwassertemperaturen an ausgewählten Beobachtungs-messstellen unter Verwendung eines Temperatur-Kabellichtlotes (TLC-Meter) mit einer Messgenauigkeit des Temperaturfühlers von < 0,1 K. Die Temperaturprofile wurden ab Grundwasserstand bis zum Boden der Messstelle erhoben. Die Temperaturwerte des Grund-wassers wurden in 1-m-Schritten aufgenommen (vgl. Diagramm 9 (a) und Diagramm 10).

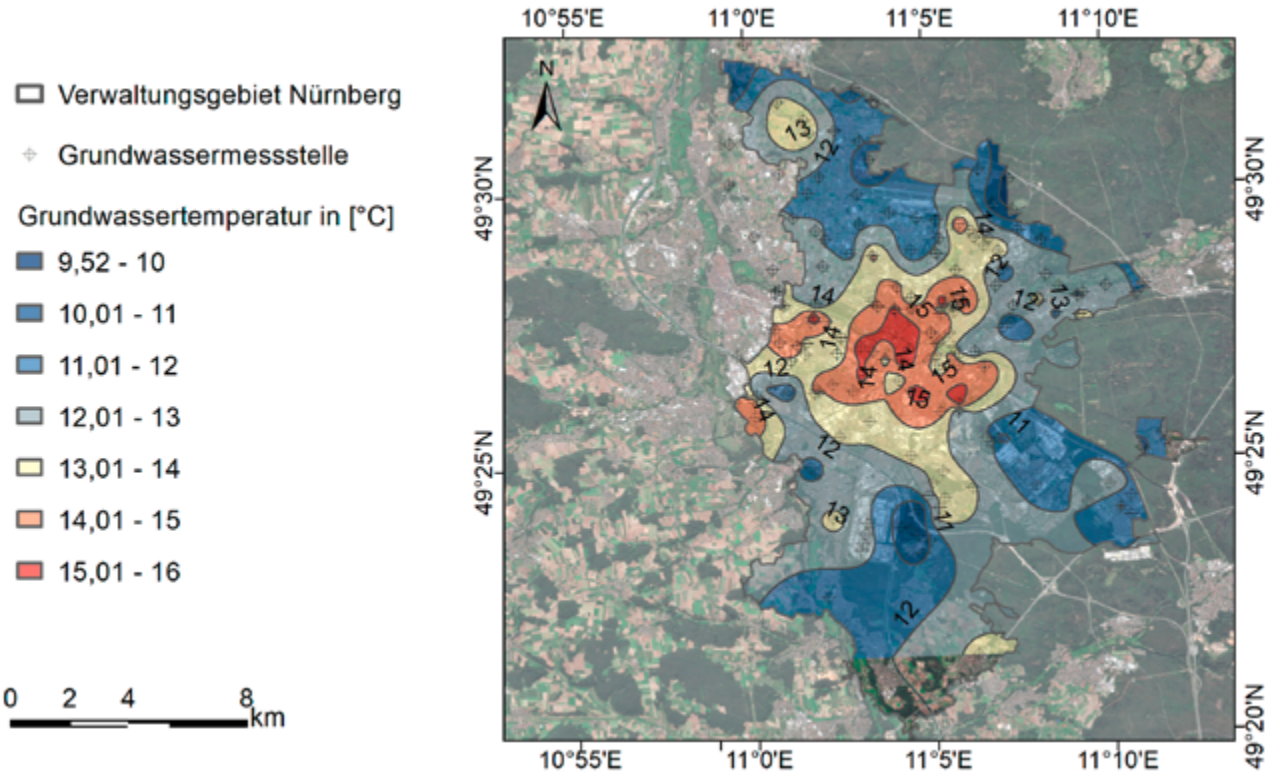
Datenlogger

Temperatur-Datenlogger erfassen die Grundwassertemperatur in einer spezifischen Tiefe über einen bestimmten Zeitraum (Diagramm 9 (b)). Datenlogger sind aufgrund ihrer kontinuierlichen Messdatenaufzeichnung besonders geeignet für die Erhebung und Auswertung von Messdatenzeitreihen, wie der thermische n Entwicklung der urbanen Wärmeinsel. Messwerte von Datenloggern wurden ausschließlich vom Umweltamt Nürnberg zur weiteren Analyse zur Verfügung gestellt. Als Systeme sind AquitronicBeaver mit einer Genauigkeit von 0,2 K verbaut. Aufgrund der höheren Anschaffungskosten für die Systeme überwiegen in der Regel die Messungen mit dem Kabellichtlot.

Ergebnisse

Temperaturanomalie von Nürnberg

Nürnberg zeigt eine ausgeprägte urbane Wärmeinsel im Untergrund und besitzt damit potenziell günstige Standorte für geothermische Anlagen zu Heizzwecken. Die räumliche Verteilung der Wärmeinsel des oberflächennahen Untergrundes ist mit Hilfe von Grundwasserisothermen in Karte 25 dargestellt. Dabei reicht ihre thermische Ausprägung von etwa 9 °C bis 16 °C, wobei die wärmsten Untergrundtemperaturen in Richtung des Stadt-zentrums angetroffen werden. Kühlere Temperaturen sind vorwiegend an den Stadträndern und unter unbebauten Flächen registriert worden.



Karte 25: Grundwasser-Temperaturen in Nürnberg. Die Messdaten stammen aus dem Temperatur-Monitoring zwischen 2019 und 2021. Klar erkennbar ist eine Boden- und Grundwassererwärmung vom Stadtrand zum Stadtzentrum. Es wurden dabei Temperaturen zwischen 9,5 und 16°C gemessen *(Quelle: J.Schweighofer)*

Langzeitmonitoring

Zur Identifikation und Quantifizierung der Temperaturverschiebungen wurden Messungen von Temperaturprofilen an insgesamt 38 Grundwassermessstellen zwischen 2015 und 2020 durchgeführt. Elf Messstellen wurden mittels Datenloggern überwacht, bei den weiteren 27 Messstellen wurden Temperaturwerte mittels vertikaler Tiefenprofile erhoben.

Zwischen 2015 und 2020 konnten für die 38 Grundwassermessstellen Temperaturänderungen von -0,02 K/a bis +0,21 K/a nachgewiesen werden. Als mittlere jährliche Temperaturänderung wurde ein Wert von +0,07 K/a bestimmt (vgl. Tabelle 5). Dies entspricht einer mittleren, absoluten Temperaturzunahme von +0,35 K von 2015 bis 2020. Die Mehrheit der Messstellen (35 Messstellen: 92 %) zeigt eine Temperaturerhöhung, wohingegen lediglich bei drei Messstellen (8 %) eine Temperaturverringerung nachgewiesen wurde.

Für diese Messstellen, die mit der TLC-Sonde befahren wurden, wurde eine mittlere Temperaturerhöhung von 0,05 K/a und ein Medianwert von 0,04 K/a bestimmt. Sowohl der stärkste Temperaturrückgang von -0,02 K/a als auch die stärkste Temperaturzunahme von +0,21 K/a wurden über die vertikalen Temperatur-Tiefenprofile nachgewiesen. Die Diagramme a – e in Diagramm 11 zeigen die vertikalen Temperaturprofile für ausgewählte Messstellen. Dargestellt sind die Temperaturlogs des Referenzjahres 2015 und die Messreihen der Folgemessung des Jahres 2020.

Die Temperaturdifferenzen zwischen 2015 und 2020 für jede individuelle Messstelle in Abhängigkeit der Tiefe (grau) ist im Diagramm (f) des Diagramm 11 dargestellt. Temperaturverschiebungen rechts der vertikalen, schwarzen 0,0-K-Referenzlinie stellen Temperaturerhöhungen von 2015 bis 2020 dar. In Rot ist die mittlere, absolute Temperaturverschiebung einer spezifischen Tiefe unter Einbezug aller in dieser Tiefe verfügbaren Messstellen dargestellt.

Die Auswertung der Temperaturaufzeichnungen aller elf Datenlogger (29 % aller Messstellen) belegt ausnahmslos Temperaturerhöhungen, die zwischen +0,05 K/a und +0,15 K/a liegen. Die mittlere Temperaturerhöhung von 2015 auf 2020 wurde auf 0,10 K/a bestimmt. Der Medianwert liegt mit 0,08 K/a knapp unter diesem Niveau. Vier ausgewählte Ganglinien sind in Diagramm 12 dargestellt.

Zusammenfassung

Oberflächennahe Aquifere und Böden sind aufgrund anthropogen bedingter Wärmeströme innerstädtisch thermisch überprägt und bieten dadurch ein verbrauchernah verfügbares Wärmepotenzial, das mittels geothermischer Systeme erschlossen werden kann. Mit diesem Projekt wurden thermische Erkundungsmaßnahmen des Standortes Nürnberg zur Quantifizierung dieses geothermischen Potenzials durchgeführt. Dazu wurde ein umfangreiches Grundwassertemperatur-Monitoring an über 150 Grundwassermessstellen systematisch und über einen mehrjährigen Zeitraum betrieben.

Die detailreiche Analyse zeigt, dass der oberflächennahe Untergrund von Nürnberg aufgrund anthropogener Prozesse stark thermisch überprägt ist und Temperaturanomalien von mehreren Kelvin zu erwarten sind.

Mit dem Wärmeeintrag in die oberflächennahen Bodenschichten steigt zudem die im Reservoir gespeicherte, thermische Energie und die thermische Nutzungsmöglichkeit mittels geothermischer Systeme, insbesondere in Bezug auf den Heizbetrieb von Gebäuden und Infrastruktur. Bei den aktuell nachgewiesenen Erwärmungsraten des oberflächennahen Untergrundes von im Mittel 0,07 K/a (Zeitraum: 2015 – 2020) nimmt eine Temperaturanhebung von 1 Kelvin etwa 14,2 Jahre in Anspruch. Daraus lässt sich auch ableiten, dass die Ausbildung der Wärmeinsel im Untergrund keinen abgeschlossenen Prozess darstellt. Es empfiehlt sich deswegen, regelmäßig Temperatur-Monitorings durchzuführen. Die Erfahrungen aus diesem Projekt zeigen, dass man solche Kampagnen alle 3-5 Jahre durchführen sollte. Innerhalb eines entsprechenden Jahres sollten dabei 4 Messtermine á 3 Monate Abstand eingeplant werden, um eine optimale Datengrundlage für die weitere Auswertung zu erzeugen.

Datenerhebung	Anzahl	Temperaturänderung [K/a]		
		Mittelwert	Minimal	Maximal
Datenlogger	11	+0,1	+0,05	+0,21
Vertikale Temperaturprofile	27	+0,05	-0,02	+0,21
Gesamt	38	+0,07	-0,02	+0,21

Tabelle 5: Übersicht, Datenerhebung an ausgewählten Messstellen zur Überwachung der Temperaturänderungen im Boden und Grundwasser im Zeitraum 2015 – 2020 *(Quelle: J. Schweighofer)*.

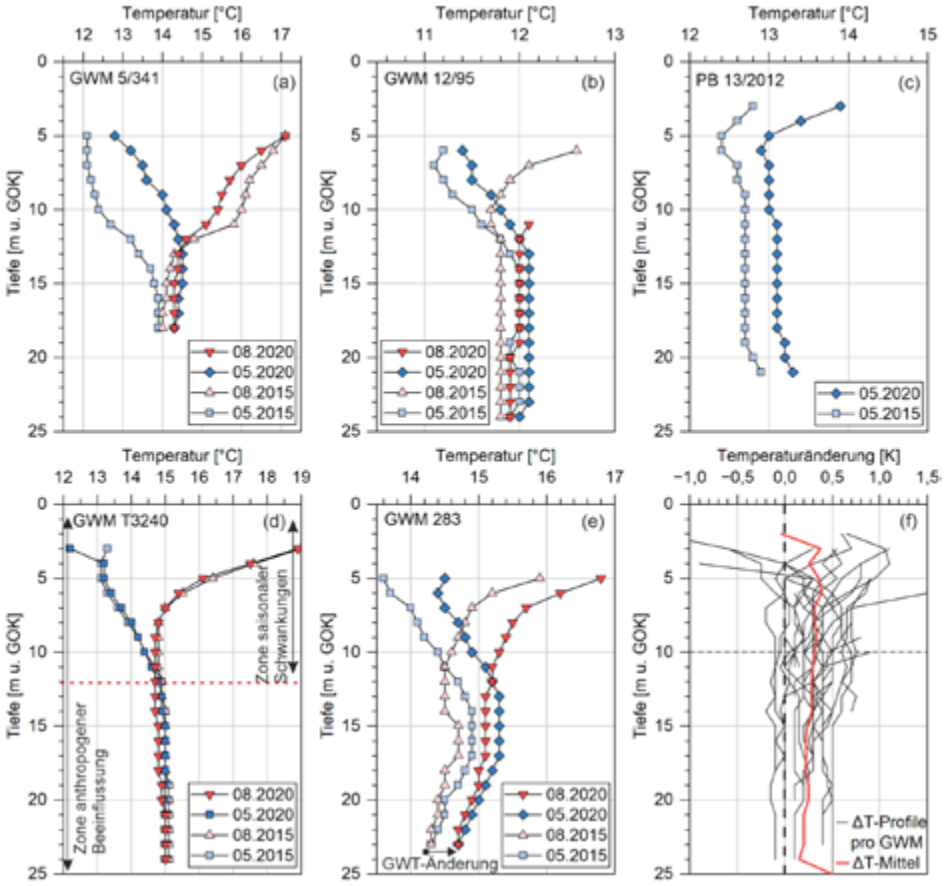


Diagramm 11: Temperatur-Tiefenprofile ausgewählter Grundwassermessstellen; in Diagramm (a) bis (e) mit zwei bis vier Messkampagnen der Jahre 2015 und 2020. Temperaturverschiebungen sind in allen messstellenspezifischen Diagrammen bis ausschließlich Diagramm (d) erkennbar. Diagramm (f) zeigt die absolute Temperaturverschiebung jeder einzelnen Grundwassermessstelle von 2015 bis 2020 als graue Linien in Abhängigkeit der Tiefe. Rot dargestellt ist die mittlere, absolute Temperaturänderung in 5 Jahren, gemittelt aus allen in dieser Tiefe verfügbaren Temperaturwerten der entsprechenden Messstellen. *(Quelle: J. Schweighofer)*

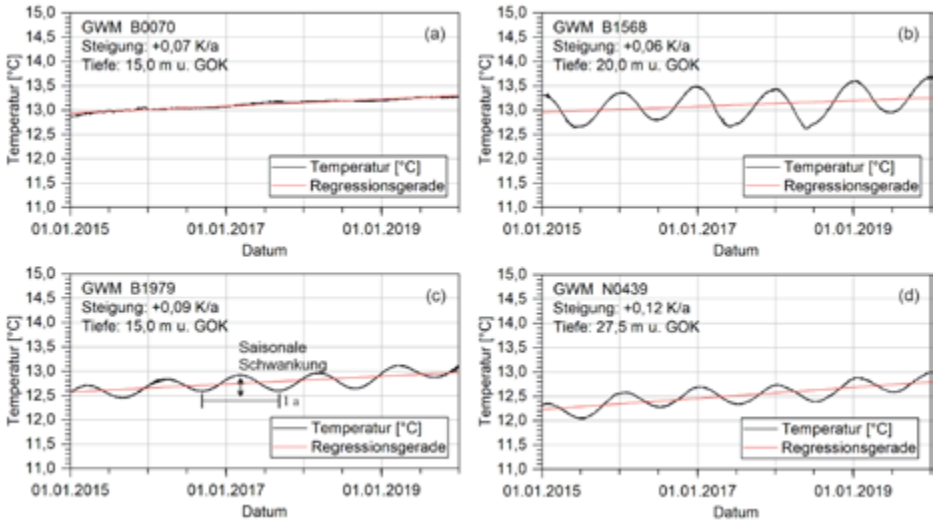


Diagramm 12: Zeitreihenaufnahmen von Grundwassertemperaturen (Einbautiefen der Datenlogger: 15 m – 27,5 m) an vier ausgewählten Grundwassermessstellen. Deutlich erkennbar ist in den Diagrammen (b) bis (d) der jahreszeitlich bedingte Temperaturgang. Alle hier dargestellten Datenlogger zeigen vom Jahr 2015 bis 2020 eine Erhöhung des Temperaturniveaus im oberflächennahen Aquifer an. *(Quelle: J. Schweighofer)*

1.2.3 Aktueller Stand der Nutzung von Geothermie

Für die nachfolgende Übersicht wurden durch das Umweltamt alle bis Dezember 2022 im Stadtgebiet Nürnberg angezeigten bzw. genehmigten Geothermie-Anlagen ausgewertet. Für weitergehende Informationen zur Geothermie wird auch auf die ausführlichen Beiträge im Kapitel 4 des Grundwasserberichtes 2017 [12] verwiesen.

Allgemeines

Die Nutzung von Geothermie (Erdwärme) gilt als umweltfreundlich und klimaschonend. Die Technologie bietet ein hohes CO_2-Einsparpotenzial und eine Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern wie Öl oder Gas. Dieses Wärmepotenzial kann mit verschiedenen Anlagentypen unter Verwendung einer Wärmepumpe zum Heizen und/oder Kühlen (Klimatisierung) von Gebäuden verwendet werden. Wärmepumpen kommen insbesondere auch bei geothermischen Anlagen zum Einsatz. Die Energie wird dabei dem Untergrund durch Erdwärmesonden, Förder- und Schluckbrunnen (Grundwasserwärmepumpe) oder Erdwärmekollektoren entzogen.

Im Stadtgebiet Nürnberg liegen aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten grundsätzlich günstige Bedingungen für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie vor. Die thermische Nutzung des Untergrundes ist aktuell auf das erste Grundwasserstockwerk (oberhalb der Estherienschichten, als Sperrschicht zu tieferen Grundwasserstockwerken) beschränkt. Die zulässigen Bohrtiefen für Erdwärmesonden und geothermische Brunnenanlagen liegen je nach Standort im Stadtgebiet zwischen ca. 60 – 120 m (lokal auch niedriger).

Geothermische Anlagen für Heiz- und Kühlzwecke werden u.a. von öffentlichen Auftraggebern bei der Errichtung von Schulen und Verwaltungsgebäuden umgesetzt. Auch im privaten Büro- und Wohnungsbau sowie in der Industrie spielt die Erdwärme und damit der Einsatz von Wärmepumpen eine zunehmende Rolle, insbesondere bei Firmen, die einen hohen Kühlbedarf haben oder große Räume frostfrei halten müssen (z.B. Rechenzentren, Speditionen). Hier werden die hohen Investitionskosten für geothermische Anlagen bewusst bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einkalkuliert und mit den niedrigen Betriebskosten gegengerechnet.

Rechtliche und fachliche Rahmenbedingungen

Der Bau einer geothermischen Anlage ist in Bayern aufgrund der direkten oder indirekten Nutzung des Grundwassers wasserrechtlich genehmigungspflichtig (Erdwärmesonden und Anlagen mit Entnahme- und Schluckbrunnen) oder anzeigepflichtig (Erdwärmekollektoren und andere flache Systeme, die nicht in das Grundwasser eingreifen). Das Umweltamt der Stadt Nürnberg als Untere Wasserrechtsbehörde ist für die Genehmigung von geothermischen Anlagen zuständig. Im Rahmen des Genehmigungsverfahren wird für Anlagen ab 50 kW das staatliche Wasserwirtschaftsamt Nürnberg als amtlicher Sachverständiger hinzugezogen.

Ausschlaggebend für einen effizienten und wirtschaftlichen Betrieb von geothermischen Anlagen ist eine fachgerechte Auslegung und Planung der Anlage in Abhängigkeit der geologischen und hydrogeologischen Standortverhältnisse. Insbesondere der Grundwasserflurabstand, die Grundwasserergiebigkeit und die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine spielen eine maßgebliche Rolle. Um die hydraulischen Bedingungen bewerten zu können, ist bereits im Vorfeld des Anlagenbaus ein hydrogeologisches Gutachten mit verschiedensten Berechnungen, Modellierungen und bei größeren Anlagen oftmals auch Versuchsbohrungen erforderlich.

Es ist zu beachten, dass zum Schutz des Grundwassers hohe wasserwirtschaftliche Anforderungen an geothermische Anlagen gestellt werden. Die fachgerechte Ausführung darf ausschließlich durch zertifizierte Unternehmen und Materialien erfolgen. Zwingend erforderlich ist auch eine fachliche Begutachtung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens und eine baubegleitende Bauabnahme durch Private Sachverständige für Wasserwirtschaft (PSW).

Weitere Informationen zur Genehmigungspraxis in Nürnberg finden sich auch im Internet auf der Homepage des Umweltamtes [37].

Geothermische Anlagen in Nürnberg

Grundwasser-Wärmepumpen

Bei Grundwasser-Wärmepumpen bzw. Wasser-Wasser-Wärmepumpen wird das Energiepotenzial des Grundwassers direkt über Brunnen genutzt. Benötigt wird mindestens ein Förder- und ein Schluckbrunnen über die das Grundwasser im geschlossenen Kreislauf geführt wird und nach der rein thermischen Nutzung dem Grundwasserregime wieder zugeführt wird. Es handelt sich hierbei um die effektivste Form der Nutzung von Geothermie.

Zwischen 1981 und Ende 2022 wurden im Stadtgebiet Nürnberg insgesamt 108 Anlagen genehmigt. Diagramm 13 sowie die Karte 26 zeigen die Anzahl der zwischen 1981 und 2022 genehmigten Grundwasser-Wärmepumpenanlagen. Zwischen 2010 und 2022 wurden zuletzt 15 Grundwasserwärmepumpen genehmigt. Bei sechs davon handelt es sich um Großwärmepumpen mit einer Gesamtleistung von jeweils > 100 kW.

Derzeit sind (Stand 12/2022) insgesamt noch 79 Anlagen in Betrieb, 29 Anlagen wurden zwischenzeitlich stillgelegt bzw. die wasserrechtliche Genehmigung nicht verlängert oder eine Nutzungsänderung beantragt (z.B. Gartenbrunnen). Darüber hinaus sind am Umweltamt derzeit auch viele Anfragen und Anträge zur Umnutzung eines bestehenden Förder-, Industrie- oder Gartenbrunnens für geothermische Zwecke in Bearbeitung.

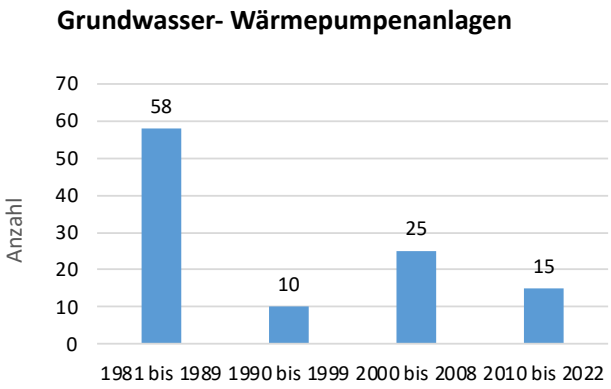


Diagramm 13: Anzahl genehmigter Grundwasser-Wärmepumpenanlagen – Stand: 12/2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

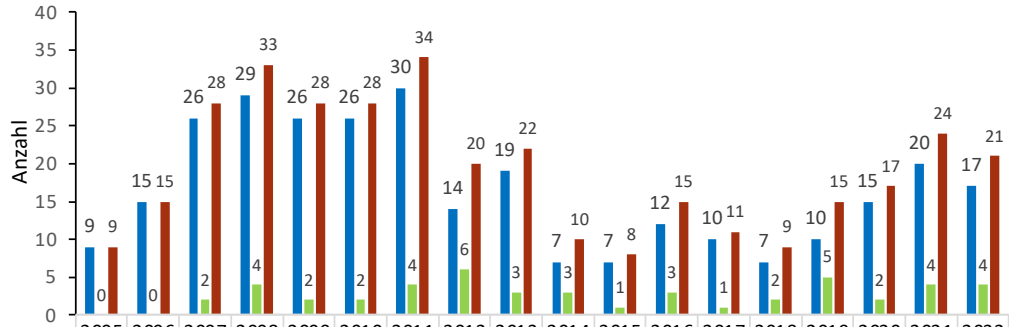
Erdwärmesonden

Über Erdwärmesonden ist eine indirekte Nutzung des geothermischen Potenzials im Untergrund möglich. Innerhalb einer Bohrung mit ca. 150 mm Durchmesser werden zwei parallel verlaufende Rohrstränge aus Kunststoff einzementiert, die an der Sohle über ein U-förmiges Fußteil miteinander verbunden sind. In diesem Rohrsystem zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit aus Wasser und Frostschutzmittel, die sich bei der Durchströmung des Untergrundes auf die natürliche Untergrundtemperatur des Gesteins bzw. Grundwassers erwärmt (ca. 10-12 °C). Diese Energie wird zur Wärmepumpe transportiert und durch die Zuspeisung von elektrischer Energie auf eine höhere Temperatur von ca. 35 °C angehoben (Vorlaufniveau für eine Niedertemperaturheizung).

Bei einem Einfamilienhaus werden i.d.R. 2-4 Sonden mit einer Heizleistung bis etwa 10 kW je Anlage installiert. Vorhaben mit mehr als 10 Sonden nennt man Sondenfelder, diese sind überwiegend bei gewerblichen Nutzungen und großen Wohn- und Verwaltungsgebäuden üblich.

Bisher wurden bis Ende 2022 im Stadtgebiet Nürnberg 347 Erdwärmesonden-Anlagen, davon 48 Sondenfelder wasserrechtlich genehmigt (vgl. Diagramm 14 und Karte 26). Bis Ende 2016 wurde für 250 Erdwärmesonden-Anlagen eine wasserrechtliche Genehmigung erteilt. In den letzten sechs Jahren hat sich die Anzahl folglich um 97 Anlagen erhöht.

Wasserrechtliche Genehmigungen für Erwärmesonden-Anlagen



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Kategorie-"Privat"	9	15	26	29	26	26	30	14	19	7	7	12	10	7	10	15	20	17
Kategorie-Sondenfeld	0	0	2	4	2	2	4	6	3	3	1	3	1	2	5	2	4	4
Summe	9	15	28	33	28	28	34	20	22	10	8	15	11	9	15	17	24	21

Diagramm 14: Anzahl genehmigter Erdwärmesonden-Anlagen – Stand: 12/2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Insgesamt sind für die Errichtung der 347 Anlagen 2.905 Bohrungen ausgeführt worden, darunter 811 Sonden für kleinere, private Anlagen und 2.094 Bohrungen bei den Sondenfeldern (vgl. Diagramm 15).

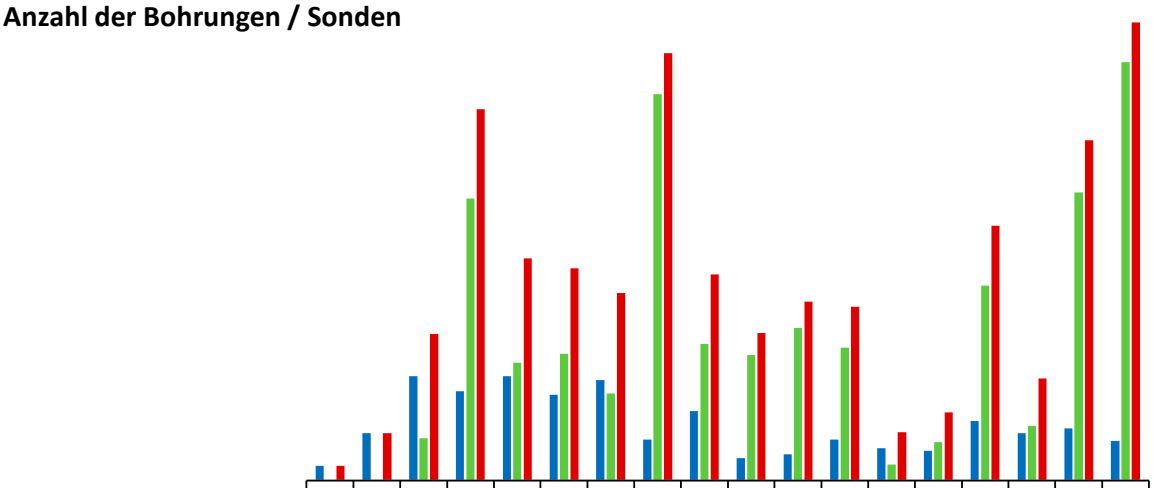
Die gesamte Leistung aller bisher im Stadtgebiet Nürnberg errichteten Erdwärmesonden-Anlagen beträgt rund 14,4 Megawatt. In Diagramm 16 ist ein jährlicher Überblick der bei Erdwärmesonden-Anlagen mittels Wärmepumpen installierten Heiz- und Kühlleistung in Kilowatt (kW), unterteilt in kleinere, private Anlagen und Sondenfelder dargestellt.

Erdwärmekollektoren

In Nürnberg wurden bislang nur fünf Erdwärmekollektoren angezeigt und genehmigt (2004, 2005, 2006, 2018 und 2022, vgl. Karte 26).

Damit zeigt sich, dass oberflächennahe Erdwärme-Systeme in städtischen Bereichen u.a. aufgrund des hohen Platzbedarfes, der eingeschränkten späteren Nutzung der Kollektorfläche (keine Beschattung, kaum gärtnerisch nutzbar) und den physikalischen Anforderungen an den Boden (bindiges Material, gutes Wasserhaltevermögen) nur wenig Verbreitung finden.

Anzahl der Bohrungen / Sonden



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Anzahl Sonden "Privat"	12	38	84	72	84	69	81	33	56	18	21	33	26	24	48	38	42	32
Anzahl Sonden Sondenfelder	0	0	34	227	95	102	70	311	110	101	123	107	13	31	157	44	232	337
Summe	12	38	118	299	179	171	151	344	166	119	144	140	39	55	205	82	274	369

Diagramm 15: Anzahl von Bohrungen / Sonden bei Erdwärmesonden-Anlagen – Stand: 12/2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Gesamtleistung von Erdwärmesonden-Anlagen

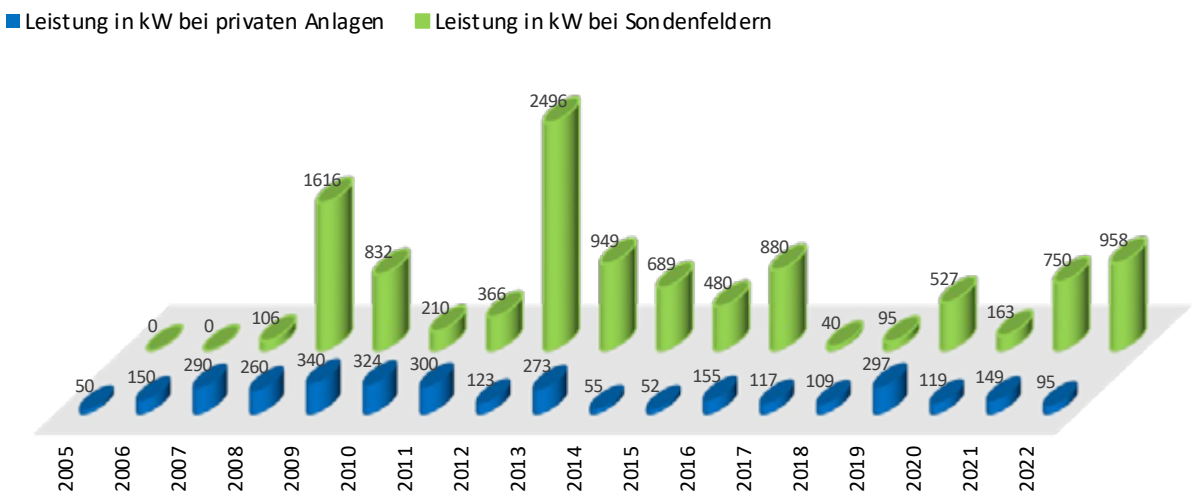
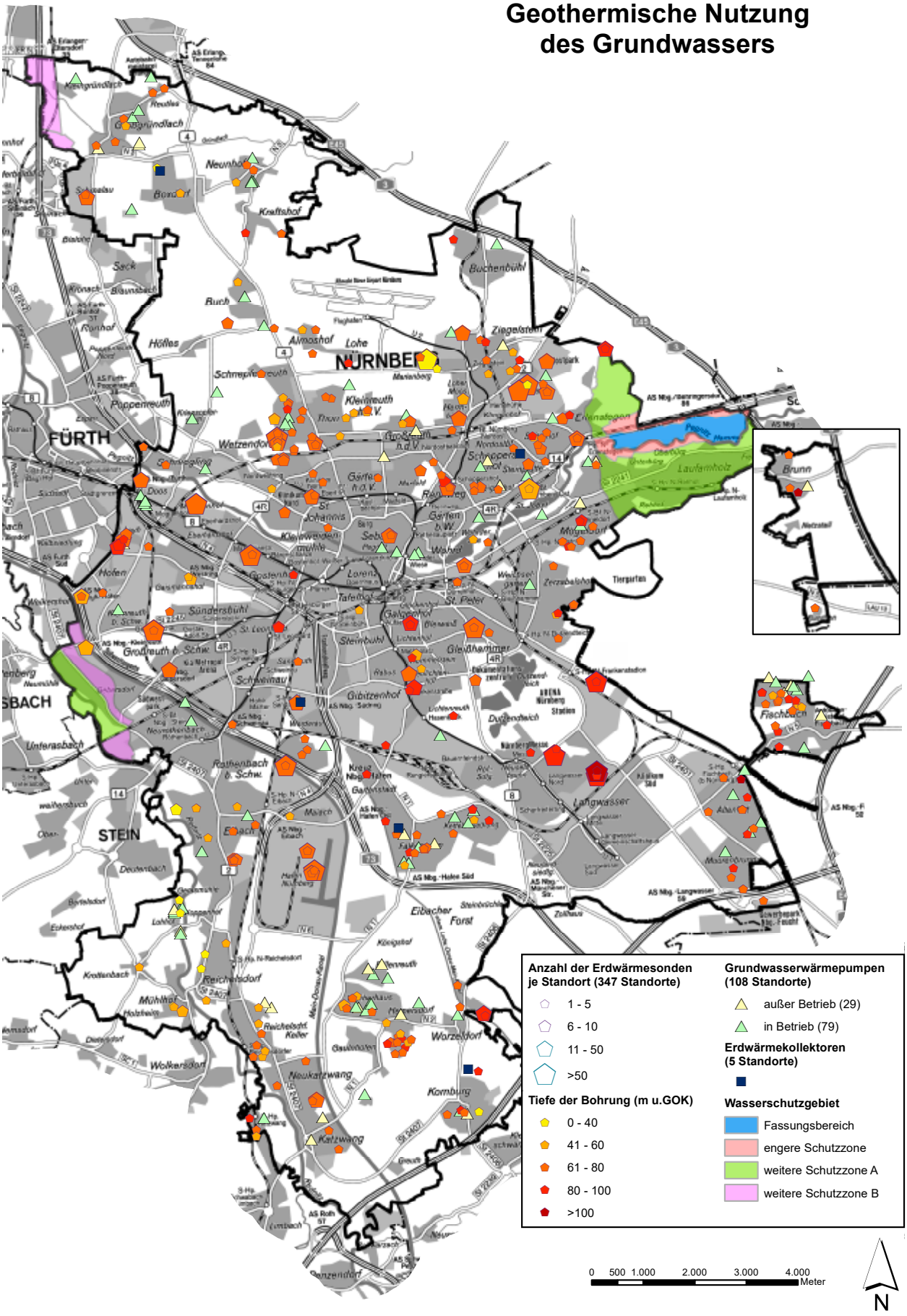


Diagramm 16: Überblick über die installierte Heizleistung bei Erdwärmesonden-Anlagen laut Genehmigungsunterlagen – Stand: 12/2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt).*



Karte 26: Überblick über die geothermischen Nutzung in Nürnberg – Stand 12/2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Machbarkeitsstudie zur Tiefengeothermie im Großraum Nürnberg

Einleitung

Im Februar 2023 hat die N-ERGIE Aktiengesellschaft beim Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi) einen Antrag zur Untersuchung des Tiefen-Erdwärme-Potenzials im Großraum Nürnberg eingereicht. Hierfür ist eine bergrechtliche Erlaubnis erforderlich.

Ziel des Projektes ist es anhand einer umfassenden Grundlagenermittlung herauszufinden, ob und in welchem Umfang das geothermische Potenzial im tieferen Untergrund erschlossen und zur umweltfreundlichen Energiegewinnung mittels Geothermie genutzt werden kann. Durch die Erschließung von geothermalen Wässern zur Wärmenutzung für die Grundlastversorgung von Industrie und Wohnbebauung über ein städtisches Fernwärmenetz soll der Anteil an regenerativen Energien kontinuierlich ausgebaut werden.

Mit der Pilotstudie ist die Erkundung von geeigneten geologischen Strukturen bis zur Basis des Buntsandsteins in mehreren hundert Metern Tiefe vorgesehen. Bisherige Geothermie-Bohrungen sind aus wasserwirtschaftlichen Vorsorgegründen auf eine Bohrtiefe von max. 100 m bis zum Top der Estherienschichten begrenzt. In diesem Zusammenhang ist eine genaue Kenntnis der geologischen und hydrogeologischen Standorteigenschaften im Untersuchungsgebiet von Bedeutung. Gleichzeitig müssen auch die Herausforderungen für eine Exploration in dichtbesiedelten urbanen Gebieten sowie umweltrelevante Aspekte berücksichtigt werden.

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in vier aufeinander aufbauende Phasen, die im Folgenden näher beschrieben werden:

Phase 1 – Grundlagenermittlung und Befliegung

Im ersten Schritt findet eine Recherche und Auswertung aller relevanten Standortdaten für das Untersuchungsgebiet statt. Die vorhandenen Gelände- und Untergrundinformationen werden in ein geographisches Informationssystem (GIS) eingepflegt und ausgewertet.

Im nächsten Schritt ist die Befliegung des Untersuchungsgebietes mit einem Spezialflugzeug vorgesehen. Das mit moderner Messtechnik für gravimetrische und magnetische Untersuchungen ausgestattete Flugzeug ermittelt aus der Luft Daten zur Geologie, die zusammen mit den Informationen aus vorhandenen Tiefbohrungen für die Erstellung eines konzeptionellen 3D-Untergrundmodells verwendet werden.

Phase 2 – Geothermische und geomechanische Modellierungen

Auf Grundlage des lithologisch-strukturellen Untergrundmodells wird ein statisches geothermisches Modell erstellt. Hierzu werden den in der Erdkruste detektierten geologischen Körpern charakteristische physikalische und hydraulische Parameter zugeordnet und die vertikale Temperaturverteilung im Untergrund modelliert.

Darauf aufbauend erfolgt eine gemeinsame Auswertung des erstellten Untergrundmodells, des geothermischen Ressourcenmodells, der Infrastruktur (Fernwärmenetz, Siedlungsstruktur, Schutzgebiete etc.) und eine Analyse der geologischen Störungszonen, um Explorationsschwerpunkte für die Durchführung weiterer Erkundungsmaßnahmen auszuwählen.

Basierend auf den o.g. Untersuchungen wird ein Gebiet zur Durchführung 3D-seismischer Messungen festgelegt und ein entsprechender Genehmigungsantrag inkl. naturschutzfachlicher Prüfung und Öffentlichkeitsarbeit vorbereitet.

Phase 3 – Durchführung von Erkundungsbohrungen

Nach Auswertung der geophysikalischen Messungen ist die Durchführung von zwei Großbohrungen bis in das Grundgebirge in rund 600 m Tiefe geplant. Die Bohrungen sollen als primäres Erkundungsziel die hydraulischen Eigenschaften des Buntsandsteinreservoirs in der Nähe von geologischen Verwerfungen untersuchen. Sekundäres Ziel ist die Untersuchung der Lithologie und der Spannungsverhältnisse im Grundgebirge.

Die Auswahl der Bohrpunkte soll unter Berücksichtigung der Schutzgüter Mensch, Natur und Umwelt festgelegt werden. Die einzelnen Bohrungen sollen nacheinander ausgeführt werden, um Erkenntnisse des ersten Aufschlusses bei der zweiten Bohrung nutzen zu können. Innerhalb der Bohrlöcher sind umfangreiche geophysikalische und hydraulische Tests im Buntsandsteinreservoir vorgesehen. Abschließend wird geprüft, ob die Aufschlüsse als Beobachtungsbohrungen erhalten bleiben oder diese alternativ nach Einbau einer Temperaturmesssonde verfüllt werden.

Phase 4 – Auswertung, Risikoanalyse und Prüfung der Realisierbarkeit

Die unter Phase 1-3 beschriebenen Untersuchungen und Modellierungen werden anhand einer Gefährdungsabschätzung für die seismischen, geologischen, technischen und wirtschaftlichen Risiken gesamtheitlich betrachtet und hinsichtlich der Realisierbarkeit des Projektes ausgewertet. Hierbei sollen auch die Ergebnisse aus der Öffentlichkeitsarbeit berücksichtigt werden. In der Gesamtbetrachtung erfolgt schließlich die technisch-wirtschaftliche und genehmigungsrechtliche Prüfung in Hinblick auf die Durchführbarkeit des Vorhabens.

Zeitrahmen und Kostenschätzung

Die Durchführung der Pilotstudie zur Untersuchung des Tiefen-Erdwärmepotenzials in Nürnberg ist für einen Zeitraum von insgesamt vier Jahren vorgesehen. Seitens der N-ERGIE Aktiengesellschaft werden für das Vorhaben rund 6,8 Millionen Euro an Investitionskosten eingeplant.

1.2.4 Thermische Interaktion und gegenseitige Beeinflussung geothermischer Anlagen

(Privater Sachverständiger der Wasserwirtschaft (PSW) – Alexander Eber)

Die Nutzung oberflächennaher geothermischer Energiequellen beginnt in Deutschland in den 1970er Jahren, seitdem kleine Wärmepumpen zur Verfügung stehen, mit denen auch Einfamilienhäuser beheizt werden konnten. Als Wärmequelle diente anfangs überwiegend das Grundwasser, welches über Entnahmebrunnen dem Grundwasserleiter entzogen und nach Abkühlung in der Wärmepumpe diesem mittels Infiltrationsbrunnen wieder zugeführt wurde. Ab den 1990er Jahren wurden dann auch vermehrt Erdwärmesonden als Erdwärmetauscher verbaut, die als sogenanntes „geschlossenes System" dem Untergrund Energie über eine in den Sonden zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit entziehen. Beide Systeme können neben der Wärme- auch zur Kälteerzeugung, also zur Raumkühlung eingesetzt werden, daneben auch zur Abdeckung technischer Kühllasten z.B. im Gewerbebau.

Die Umsetzung dieser Techniken in der Gebäudeklimatisierung war und ist immer stark von der Quotierung der öffentlichen Förderung abhängig. Seit 2020 erlebt die Technik durch die deutliche Anhebung der Förderung des Bundes und aktuell durch die Ukrainekrise neuerlich einen Boom, der inzwischen zur Verknappung der am Markt verfügbaren Bohrkapazitäten führt [38]. Mit einer weiteren Belebung des Marktes ist im Zusammenhang mit der Neuauflage des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zu rechnen [39]. Neben den Markteffekten führt der verstärkte Einsatz erdgekoppelter Wärmepumpentechnik zu einer stetig wachsenden Anlagendichte, wodurch diese zueinander in thermische Konkurrenz treten. Folge ist, dass die Untergrundtemperaturen zu schnell absinken und sich die Lebensdauer der Anlagen verkürzt (siehe unten). Die gegenwärtige Genehmigungspraxis im Bund und auch in Bayern berücksichtigt die gegenseitige thermische Beeinflussung bislang noch wenig und sollte zukünftig stärker auf die fachlichen Sachverhalte ausgerichtet werden. Die aktuellen Regelungen sind derart gestaltet, dass

a) die Thematik nicht im öffentlichen Sektor, sondern in der privatrechtlichen Sphäre abzustimmen ist, was den Bauherren auferlegt, mit den Nachbarn privatrechtliche Vereinbarungen zu schließen und

b) Mindestabstände z.B. von Erdwärmesonden von Grundstücksgrenzen eingeführt wurden, die einzuhalten sind (in Bayern nach Bayerischer Bauordnung 3 m).

Die Regelung nach a) scheitert insofern, als in der aktuellen Normung zur Bemessung von geothermischen Anlagen [40]; [41] diesbezüglich keine konkreten Vorgaben für die technische Planung formuliert sind. Dies gilt gleichermaßen für b), weil die Auflagen aus dem Baurecht abgeleitet sind, die thermische Beeinflussung jedoch von den geothermischen Untergrundverhältnissen, der Ausbautiefe z.B. der Erdwärmesonden, der Anlagenleistung und der Energiebilanz der Anlagen (z.B. Regeneration der Anlage durch Kühlung) etc. abhängt.

Betrieb erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen:

Wärmepumpen haben gegenüber konventionellen, auf Strom basierenden Heizsystemen wesentliche Effektivitätsvorteile: Während konventionelle Systeme wie z.B. Nachtspeicheröfen oder Heiztapeten aus einer kWh Strom weniger als 1 kWh Wärme erzeugen, produziert eine moderne Wärmepumpe aus einer kWh Strom wenigstens 4 kWh Wärme. Die Wärmepumpe benötigt hierzu eine Wärmequelle, im vorliegenden Beispiel, die im Untergrund gespeicherte Wärme, die durch Erdwärmesonden erschlossen und durch den geothermischen Wärmestrom aus dem Erdinnern erneuert wird. Allerdings ist dieser Wärmestrom in Deutschland so klein, dass er alleine nicht ausreicht, um erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen auf unbegrenzte Zeit ohne Zufuhr von zusätzlicher Wärme (sommerliche Regeneration durch Kühlung etc.) wirtschaftlich zu bauen und zu betreiben. Daher sinkt die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit innerhalb der Betriebsdauer langsam ab und zwar umso stärker, je größer das Defizit zwischen entnommener Wärme und der Summe aus geothermischem Wärmefluss und zugeführter Wärme ist. Die aktuelle Norm fordert daher bei der Anlagenauslegung eine Mindestbetriebsdauer der Anlagen von 50 Jahren zu Grunde zu legen. Da die Wärmeträgerflüssigkeit in der Erdwärmesonde in Spitzenlastsituationen in den Frostbereich fahren kann, müssen Frostschutzmittel eingesetzt werden. Im Grundlastbetrieb tritt keine Frostsituation auf, da die mittlere Temperatur der Trägerflüssigkeit nicht in den Frostbereich gerät (vgl. Diagramm 18). Grundsätzlich gilt: Das Temperaturverhalten der Wärmeträgerflüssigkeit wird sich auch ohne Regeneration im Realbetrieb günstiger darstellen, weil die Heizlasten der Gebäude auf der sicheren Seite berechnet werden und die Anlagen vom Wärmebeitrag des strömenden Grundwassers profitieren, der in der Auslegung im Regelfall unberücksichtigt bleibt.

Gegenseitige geothermische Beeinflussung – ein Beispiel

Die gegenseitige thermische Beeinflussung soll daher am Beispiel der Erdwärmesonde (EWS) veranschaulicht werden. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der normativen Anforderungen und Techniken, die bei der Anlagenauslegung zur Anwendung kommen. In Deutschland können Anlagen mit einer Heizleistung bis 30 kW vereinfacht mit sogenannten spezifischen Entzugsleistungen dimensioniert werden. Darunter fallen aktuell alle Einfamilienhäuser, aber auch gut gedämmte Mehrfamilienhäuser. Oberhalb dieser Leistungsgrenze erfolgt die Auslegung heute überwiegend softwaregestützt. Dies hat den Vorteil, dass die Temperaturen der Wärmeträgerflüssigkeit über längere Zeiträume näherungsweise berechnet werden können.

Zur Verdeutlichung zeigt das Diagramm 17 die Auslegung einer Erdwärmesondenanlage eines kleinen Einfamilienhauses mit sehr gutem Dämmstandard (z.B. KfW 40) und einer Heizlast von 5 kW. Dabei wurde unterstellt, dass:

- die Nutzungsdauer des Gebäudes und damit der geothermischen Anlage nach Vorgabe in VDI-RICHTLINIE 4640, 2019 [41] mindestens 50 Jahre betragen soll,
- neben der Beheizung des Gebäudes auch die Trinkwarmwasserbereitung mittels Wärmepumpe erfolgen soll und
- die Auslegung der Anlage (Sondenanzahl und -tiefe) so gestaltet wird, dass die Minimaltemperatur der Wärmeträgerflüssigkeit am Wärmepumpenaustritt auch bei Spitzenlast nicht unter -3 °C am Ende des Auslegungszeitraumes (Grenztemperatur) abfällt.

Bezüglich der Grenztemperaturen und dem Ansatz der Spitzenlast wurde, in Ermangelung einer konkreten Vorgabe in den technischen Regelwerken für Deutschland [41], auf die in der Schweiz geltenden normativen Vorgaben [42] zurückgegriffen, die im Übrigen, jedoch nur in Teilen, auch in Bayern eingeführt wurden [43]. Die Wärmeversorgung unseres Objektes lässt sich im Ergebnis mit einer 88 m langen Erdwärmesonde realisieren, die gut wärmeleitfähige Gesteine bei einer Untergrundtemperatur erschließt, wie sie in städtischen Bereichen regelmäßig anzutreffen ist: gewählte Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 2{,}5$ W/m/K, ungestörte Untergrundtemperatur Tu = 13 °C (vgl. Kapitel 1.2.2).

Jährliche Minimaltemperaturen treten im Winter bei Heizbetrieb, Maximaltemperaturen im Sommer auf, wenn die Wärmepumpe nur zur Warmwassererzeugung betrieben wird (Diagramm 17). Die Grenztemperaturvorgabe für die Minimaltemperatur von -3 °C wird am Ende des Berechnungszeitraumes im Spitzenlastfall eingehalten (Diagramm 18). Allerdings ist zu beobachten, dass die Temperaturen sukzessive, wenn auch immer langsamer, abnehmen. Soll die Anlage deutlich über 50 Jahre betrieben werden, muss im Betrieb irgendwann zusätzlich Wärme eingespeist werden, um die Anlage zu regenerieren. Dies kann z.B. idealerweise bereits zu Betriebsbeginn durch alternierende Nutzung im Sommer für Kühlzwecke oder durch solarthermische Regeneration erfolgen.

Wird nicht regeneriert, sinken nicht nur die Temperaturen stetig ab, auch das sich im Sondenumfeld abkühlende Temperaturfeld des Untergrundes weitet sich stetig aus. Dabei spielt verständlicherweise die Lage der Grundstücksgrenzen

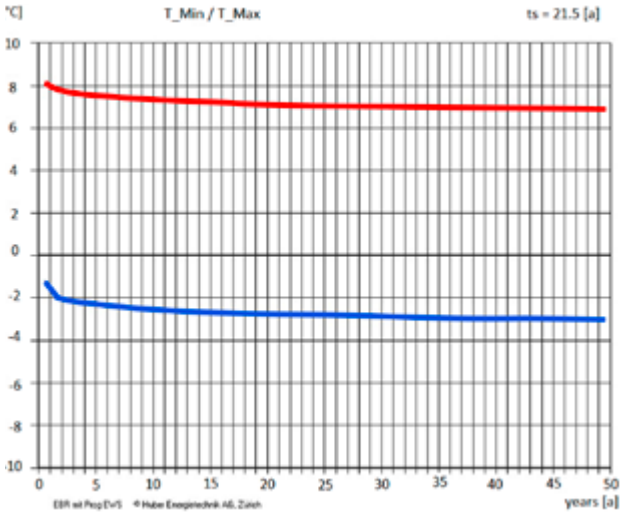


Diagramm 17: Jährliche Minimal- und Maximaltemperaturen in der Wärmeträgerflüssigkeit der Erdwärmesondenanlage über eine Nutzungsdauer von 50 Jahren *(Quelle: A. Eber)*

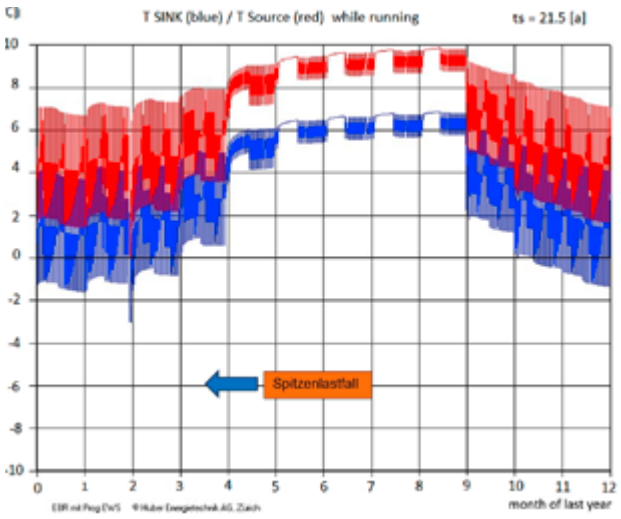


Diagramm 18: Jahresgang der Vor- und Rücklauftemperaturen der Wärmeträgerflüssigkeit der Erdwärmesondenanlage im 50. Betriebsjahr *(Quelle: A. Eber).*

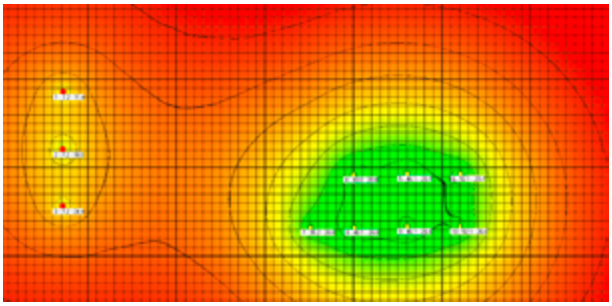


Abbildung 16: Temperaturfeld des Untergrundes zweier benachbarter Erdwärmesondenanlagen nach einer Betriebsdauer von 50 Jahren (Raster: 1*1m; Temperaturbereich von grün nach rot: 8 Kelvin) *(Quelle: A. Eber)*

nur eine untergeordnete Rolle. Ferner können die Sonden in den seltensten Fällen aus baulichen Gründen, der Grundstücksgröße etc. so positioniert werden, dass ein „Grenzübergriff" verhindert werden kann. Es ist daher weder wirtschaftlich noch baulich realistisch, die Möglichkeit der geothermischen Nutzung von der thermischen Beeinflussung des Untergrundes über Grundstücksgrenzen hinaus abhängig zu machen. Wesentlich ist vielmehr, die Anlagenauslegung und damit z.B. die Erdwärmesondentiefe und -anordnung grundstücksübergreifend so zu gestalten, dass eine möglichst hohe Anlagendichte bei minimierter gegenseitiger Beeinflussung erreicht werden kann.

Abbildung 16 zeigt beispielhaft zwei Erdwärmesondenanlagen auf benachbarten Grundstücken, von denen die rechte zuerst, die linke zeitlich versetzt errichtet wurde. Mit dem Auslegungswerkzeug wurde in diesem Fall nicht nur die Temperaturentwicklung der Wärmeträgerflüssigkeit für das Objekt links, sondern auch das Temperaturfeld des Untergrundes für beide Objekte berechnet. Die geografischen Anlagenschwerpunkte sind etwa 40 m voneinander entfernt. Die schwarzen Linien sind Isothermen (Linien gleicher Temperatur), die das gemeinsame Temperaturabsenkungsfeld (grüne Farben: relativ kalt; rote Farben: relativ warm) beider Anlagen räumlich beschreiben. Im Anlagenzentrum (Sondennahbereich) zeigt sich die erwartbare stärkere Abkühlung des Untergrundes. Wesentlich ist, dass die erkennbare gegenseitige thermische Beeinflussung der Anlagen über die etwa mittig zwischen beiden Anlagen liegende Grundstücksgrenze hinausreicht, ohne dass beide Anlagen in ihrer Funktion oder Lebensdauer beeinträchtigt wären.

Anlagenkonkurrenzen – Entwicklung und Maßnahmenvorschläge

Während in Deutschland und so auch in Bayern aufgrund der moderaten Anlagendichte die genseitige Anlagenbeeinflussung bislang nur im Einzelfall zu betrachten war, ergeben sich jetzt vor dem Hintergrund der aktuell drastischen Steigerung der Anlagenzahlen regulative Konsequenzen für die Bewirtschaftung der oberflächennahen geothermischen Ressourcen. Diesbezüglich lohnt sich ein Blick in die benachbarte Schweiz. Dort wurde bereits frühzeitig erkannt, dass Geothermie die wesentliche Energiequelle ist, die nahezu flächendeckend als Alternative zur Kohlenwasserstoffnutzung (Erdöl/Erdgas) ganzjährig erhebliche Beiträge zur nationalen Wärmeversorgung leisten kann. Insofern wurde der Ausbau insbesondere der oberflächennahen Geothermie bereits frühzeitig forciert. Tabelle 6 zeigt den aktuellen Stand im Vergleich Deutschland Schweiz.

	Schweiz [44]	**Deutschland** [45]	**Einheit**
Erdwärmesonden und Erdregister [2)]	3.763	---[1)]	GWh
Übrige	834	---[1)]	GWh
Gesamt	4.597	17.905 [3)]	GWh
Anteil Geothermie an nationalem Wärmebedarf	5,5	1,4	%

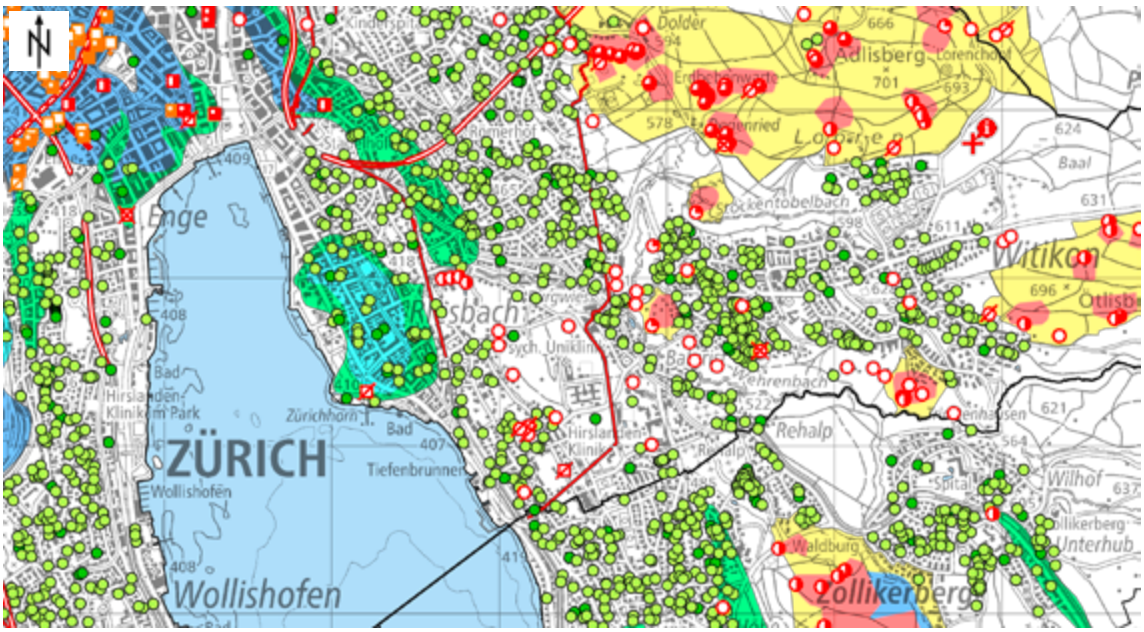
[1)] ---: Keine detaillierten Daten verfügbar
[2)] Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörbe etc.
[3)] Die Daten enthalten auch die bereitgestellte Kälteenergie

Tabelle 6: Vergleich der geothermischen jährlich erzeugten geothermischen Endenergie Schweiz – Deutschland *(Stand 2021; Quelle: A. Eber)*

Die Daten zeigen, dass der geothermische Deckungsgrad am nationalen Wärmebedarf in der Schweiz deutlich höher ist als in Deutschland. Auffallend ist der hohe Anteil der Erdwärmesonden an der gesamten Energieerzeugung in der Schweiz, zumal die Daten auch die Wärmeerzeugung aus tiefen geothermischen Anlagen enthalten. Obwohl der Anteil an der nationalen Stromerzeugung noch relativ klein ist, nehmen die Anlagenkonkurrenzen in den Ballungsgebieten zu. Karte 27 zeigt dazu einen Auszug aus dem Wärmenutzungsatlas des Kantons Zürich.

Die für Deutschland mit steigendem Geothermieausbau wie in der Schweiz erwartbare Zunahme der Anlagenkonkurrenz macht auch hier Maßnahmen erforderlich, die eine optimale Nutzung der geothermischen Ressourcen erlauben. Dies können sein:

- Steigerung der zulässigen Bohrtiefe: Die Erhöhung der zulässigen Bohrtiefe verringert die Sondenanzahl je Projekt und mindert dadurch die Anlagenkonkurrenz. Bislang sind die Bohrtiefen beispielsweise in Nürnberg aus wasserwirtschaftlichen Vorsorgeaspekten auf ca. 50 – 100 m Tiefe limitiert. Hier sollte aus Sicht von Planern und Bauherren, u.a. vor dem Hintergrund der mittlerweile vielfach gesammelten Erfahrungen und der technologischen Entwicklungen die Güterabwägung zwischen geothermischer Nutzung und Wasserversorgung neu diskutiert werden.
- Konkretisierung der Anforderungen an die Anlagenauslegung: Die Schweiz hat die normativen Anforderungen diesbezüglich überarbeitet und fordert von den Bauherren bei der Anlagenauslegung nicht nur die Berücksichtigung bestehender Nachbaranlagen, sondern auch künftiger in der Nachbarschaft möglicher Anlagen [42].
- Datenbereitstellung zur Planung: Lagedaten und Bohrinformationen werden in Bayern aktuell mit dem Umweltatlas bereitgestellt [47]. Die Informationen sind jedoch bezüglich der Anlagenkoordinaten aus Datenschutzgründen eingeschränkt. Die Daten vorhandener Sonden oder Brunnen müssen für die Berechnung flurstückscharf in großem Maßstab verfügbar sein. Daneben wären z.B. Angaben zu den Ergebnissen von Thermal-Response-Tests, zur Anlagenleistung etc. hilfreich.
- Durchführung eines beweissichernden Temperatur-Monitorings an ausgewählten Grundwassermessstellen als behördliche Auflage im Rahmen des Genehmigungsverfahrens.



Karte 27: Auszug aus dem Geoportal Kanton Zürich: Erdwärmesonden (hell- und dunkelgrüne Punkte);
(Quelle: Geoportal Schweiz, Wärmenutzungsatlas; © GIS-ZH, Kanton Zürich [46])

1.3 Grundwasserquantität

1.3.1 Erhebung der Grundwasserstände

Im Rahmen des Nürnberger Grundwassermonitorings wird seit 2009/2010 ein Grundwassermessnetz mit insgesamt ca. 245 Grundwassermessstellen betrieben (vgl. Karte 28). Dort werden in Abständen von 3 Jahren jeweils aktuelle Grundwasserstände gemessen und auf der Homepage des Umweltamtes der Stadt Nürnberg veröffentlicht [48]. Alle 6 Jahre finden diese Erhebungen in Form einer Stichtagsmessung statt. Das heißt, die Grundwasserpegel werden flächendeckend innerhalb eines kurzen Zeitraumes gemessen, so dass die gleichen klimatischen Bedingungen für den gemessenen Grundwasserstand vorliegen.

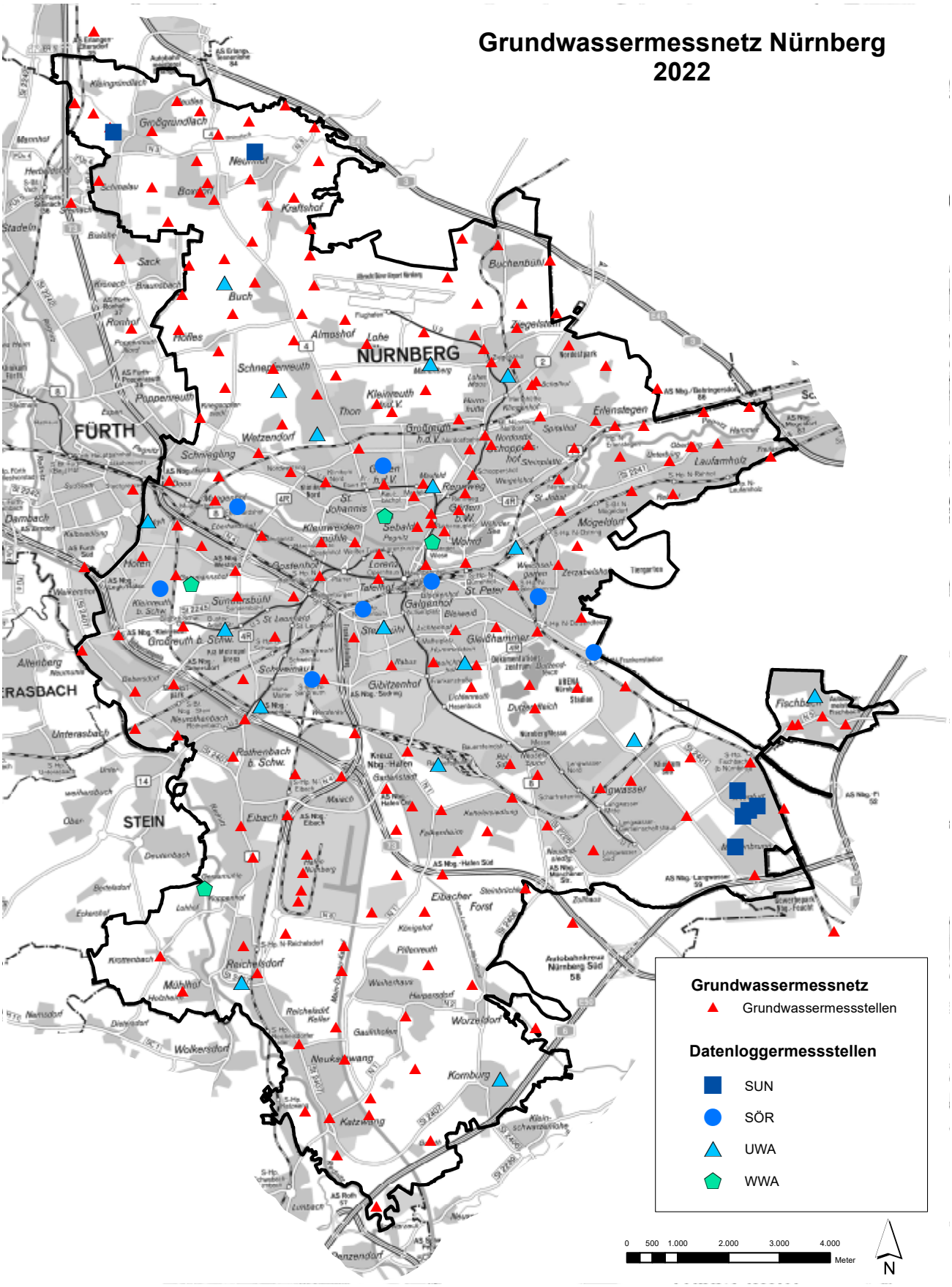
Mit Hilfe der Daten aus den Stichtagsmessungen werden jeweils die Grundwasserkarten der Stadt Nürnberg aktualisiert. Mit vorliegendem Grundwasserbericht werden die Ergebnisse der vierten Stichtagsmessung, die im März 2022 an diesem Messnetz stattfand, vorgelegt (vgl. Kapitel 1.3.3 und Anlagen 1 und 2).

Das Überwachungsprogramm zur Erfassung der Grundwasserstände beinhaltet ein Datenloggermessnetz. An 30 Grundwassermessstellen werden die Grundwasserstände kontinuierlich erhoben, d.h. mindestens 1 Messung am Tag digital aufgezeichnet. Mit Hilfe dieser Aufzeichnungen können die Grundwasserschwankungen, die Entwicklungen und längerfristigen Veränderungen ermittelt und dargestellt werden (vgl. Kapitel 1.3.2).

Außerhalb dieses Monitorings finden aus verschiedenen Anlässen wie zum Beispiel Baugrunduntersuchungen oder Altlastenuntersuchungen meist zeitlich eng begrenzt weitere Grundwasserstandsermittlungen im Stadtgebiet statt. Die hierfür errichteten Messstellen, v.a. wenn es sich um städtische Messstellen handelt, werden in Nürnberg in eine Datenbank eingepflegt (Bohrungskatalog). Weitere Daten aus verschiedenen Untersuchungen finden sich in Dokumenten, die bei der Stadt Nürnberg vorliegen (z.B. Altlastengutachten). Bohraufschlüsse und Grundwassermessstellen liefern wichtige Erkenntnisse über die hydrogeologische Situation. Diese Daten ergänzen vereinzelt die Ergebnisse des Monitorings, vor allem aber liefern sie zusätzliche Informationen bei der Ersteinschätzung der räumlichen Situation bei konkreten Fragestellungen. Die Informationen über o.g. Bohraufschlüsse und Grundwassermessstellen werden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt im „Bodeninformationssystem" erfasst und können dem UmweltAtlas Bayern des Landesamtes für Umwelt (LfU) unter der Fachklasse Geologie/Bohrungen und Quellen entnommen werden [47].



Abbildung 17: Grundwassermessstellen des Grundwassermessnetzes der Stadt Nürnberg *(Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)*



Karte 28: Grundwasser- und Datenloggermessstellen des Grundwassermonitorings Nürnberg
(Stand 2022; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

1.3.2 Entwicklung der Grundwasserstände

Natürliche, witterungs- und klimabedingte Grundwasserstandsänderungen

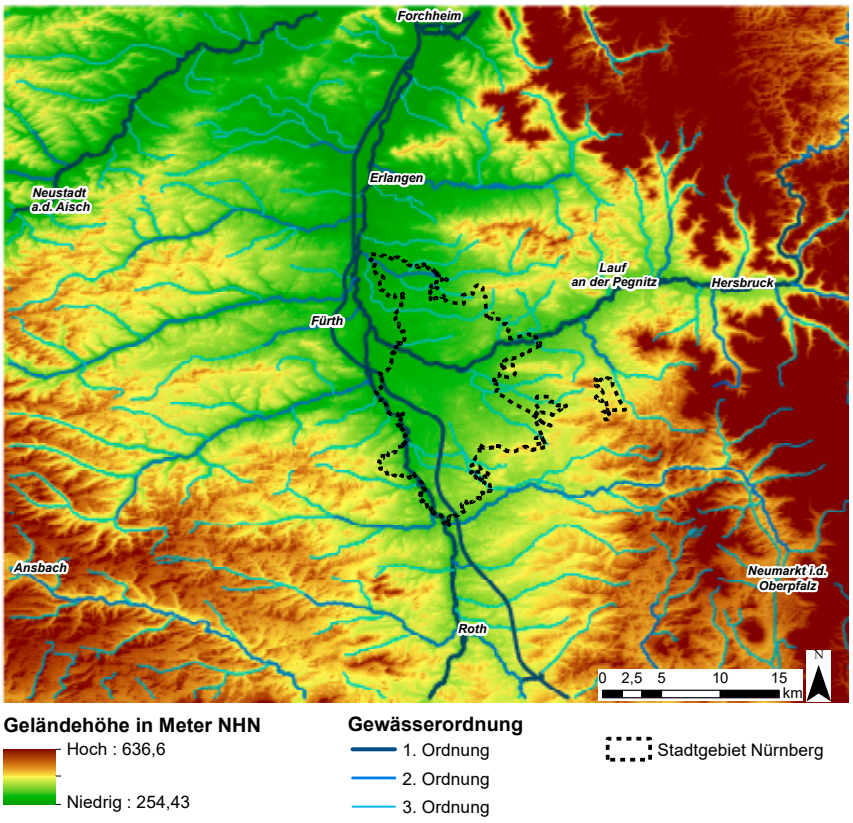
Grundwasserstände sind stets veränderlich. Bei den Ursachen für diese Grundwasserstandveränderungen sind zuerst die natürlichen, witterungsbedingten Einflüsse im Verlauf eines hydrologischen Jahres (November bis Oktober) zu nennen. Der idealtypische Verlauf einer Grundwasserstands-Zeitreihe (Grundwasserganglinie) oszilliert zwischen einem Tiefstand im November und einem Hochstand im Frühjahr (vgl. Grundwasserbericht 2017 [12]). Die witterungsbedingten Einflussfaktoren (v.a. Niederschlagsmenge, Lufttemperatur und Sonnenscheindauer) sind zeitlich und mengenmäßig sehr variabel und unterscheiden sich von Jahr zu Jahr zum Teil erheblich. Dies bildet sich auch bei den Grundwasserganglinien ab, teilweise können sie erheblich vom idealtypischen Verlauf der Grundwasserschwankungen abweichen. Auch die langfristigen klimatischen Trends wirken sich selbstverständlich auf die Grundwasserstände aus (vgl. Kapitel 2.1).

Einfluss der hydrogeologischen Ausgangssituation auf die Grundwasserstände

Die naturräumliche Lage und die hydrogeologische Ausgangssituation sind ebenfalls grundlegend für das Verständnis der Grundwasserstandschwankungen und -entwicklungen in Nürnberg, v.a. im Vergleich zu anderen Regionen.

Ausschlaggebend für Nürnberg ist, dass es sich in einer Senke befindet in der zwei Flüsse erster Ordnung, die Pegnitz und Rednitz, zusammenfließen und zusammen die Regnitz bilden. Kleinere Oberflächengewässer laufen zudem im Stadtgebiet zusammen und entwässern in die großen Flüsse (vgl. Karte 29). Fließgewässer stellen in aller Regel die Vorflut und die zugehörigen Grundwasserbegleitströme in der Hauptsache die Abflussbahnen für das Grundwasser dar. Sie bestimmen also im Wesentlichen die Grundwasserfließrichtung und das –fließverhalten. Entlang der größeren Gewässer im Stadtgebiet sind relativ mächtige, gut durchlässige quartäre Sedimente anzutreffen (vgl. Quartärmächtigkeitskarten in den Grundwasserberichten 2011 und 2017 [49], [12]). Somit strömt insbesondere mit und zu den Gewässern relativ viel Grundwasser dem Stadtgebiet zu.

Topografie und Flussysteme im Umkreis von Nürnberg



Karte 29: naturräumliche Lage des Stadtgebietes von Nürnberg mit besonderem Blick auf die Höhenlage und Oberflächengewässer *(Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt; Digitales Höhenmodell DGM25: Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung 2021)*

← INHALT

In Nürnberg werden die Grundwasserstände vorwiegend durch die Nähe zu diesen Fließgewässern geprägt. Der Flusswasserpegel des jeweils nahegelegenen, mit dem Grundwasser in Kontakt stehenden, Vorfluters begrenzt letztlich das Absinken der Grundwasserspiegelhöhe. Das bedeutet, dass in Gewässernähe die Grundwasserpegel insgesamt weniger stark absinken. Im Kapitel 2.3.3. werden unterschiedliche Grundwasserganglinien in der Region Nürnberg u.a. in Abhängigkeit zur Entfernung zum Fließgewässer dargestellt.

Für Nürnberg ist zudem zu beachten, dass im Bereich der Rednitz und den Mündungsgebieten ihrer Nebenflüsse die Gewässerspiegelhöhe durch die Überleitung von Altmühl- und Donauwasser in das Regnitz-Main-Gebiet beeinflusst wird (vgl. Diagramm 19, vgl. auch Kapitel 2.2.2). Die Überleitung dient vor allem der Niedrigwasseraufhöhung [50].

Die Speichergesteine im Untergrund von Nürnberg sind in weiten Bereichen und in den größeren Tiefen vorwiegend Kluft-, untergeordnet Porengrundwasserleiter mit mäßigen Speichervolumen (vgl. Abbildung 18), so dass trotz gutem Zustrom keine sehr großen Wasservorräte darin vorkommen. Ausnahmen mit deutlich größeren Ergiebigkeiten bilden in Nürnberg die Bereiche mit mächtigen quartären Lockersedimenten entlang der Flüsse und die Urtalrinnen (Porengrundwasserleiter). Auch die unterschiedlichen Durchlässigkeiten der Grundwasserleiter beeinflussen die hydrogeologische Situation insgesamt und u.a. die Höhe der Grundwasserschwankungen. In den Grundwasserberichten 2011 und 2017 wurde ausführlich auf die geologischen / hydrogeologischen Grundlagen im Bereich der Stadt Nürnberg eingegangen [49], [12].

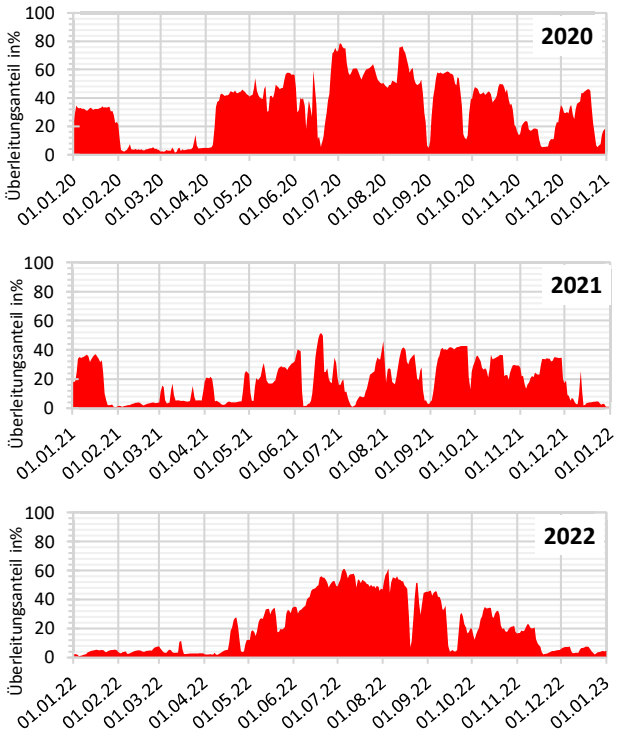


Diagramm 19: Überleitungsanteile des Wasserabflusses der Regnitz am Pegel Hüttendorf (Nördlich, abstromig von Nürnberg) in regenreichen und trockenen Jahren hier 2020, 2021 und 2022 *(Quelle Wasserwirtschaftsamt Ansbach, verändert)*

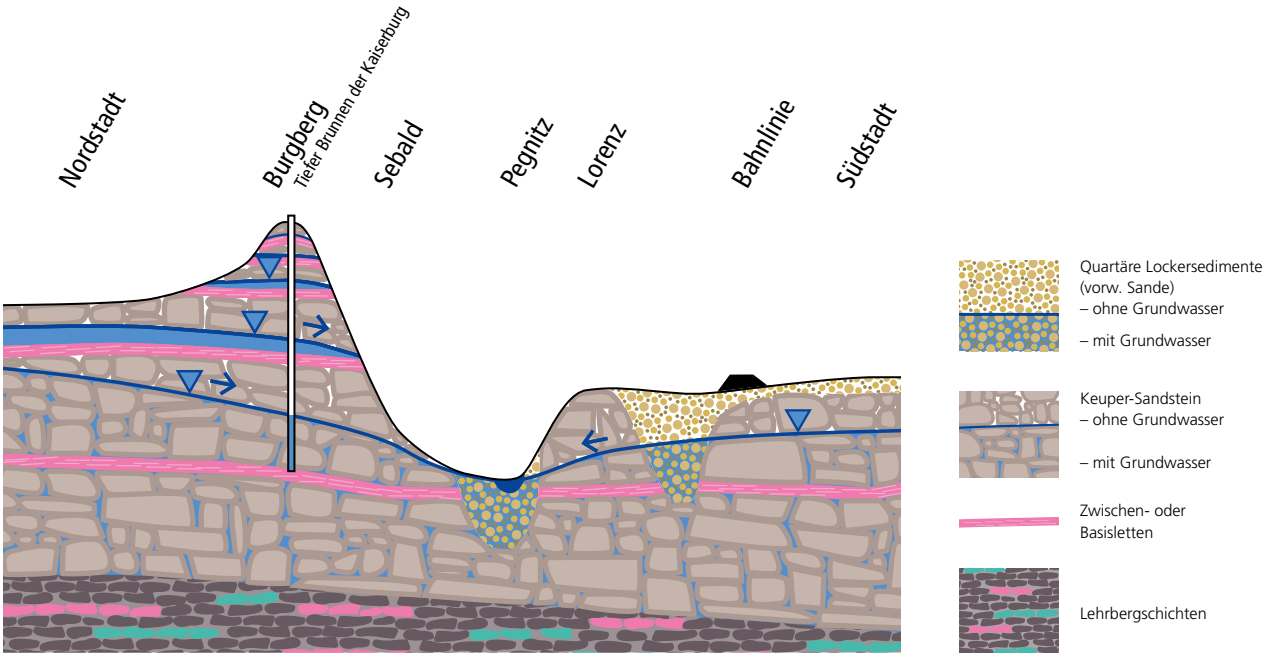


Abbildung 18: schematische Darstellung der Grundwasservorkommen in Nürnberg (ca. 20-fach überhöht): vorwiegender Kluft- (und Poren-)grundwasserleiter (hier i.W. Blasen- und Burgsandstein) und Porengrundwasserleiter (z.B. Urtalrinnen); schwebende Stockwerke z.B. im Bereich der Burg *(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)*.

Urbane Einflüsse auf die Grundwasserstände

Im städtischen Raum werden die Grundwasserstände mehr oder weniger stark durch menschliche Eingriffe und Siedlungstätigkeit geprägt. In der Regel sind dies grundwassersenkende Einflüsse: z.B. temporäre Bauwasserhaltungen zur Trockenlegung von Baugruben (Abbildung 19), Grundwasserentnahmen v.a. durch Betriebs- und Beregnungsbrunnen



Abbildung 19: Baugrube mit Grundwasser gefüllt; Karl Schönleben Straße 2017 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt).*

aber auch durch Grundwassersanierungsmaßnahmen, Versiegelungen verbunden mit Niederschlagswasserableitungen in die städtische Kanalisation und verringerter Grundwasserneubildung. Doch auch Maßnahmen zur Verbesserung des Grundwasserhaushaltes z.B. Versickerungsanlagen können sich – eher kleinräumig – auf den Grundwasserstand auswirken. Auch größere Tiefbauten, die in den Grundwasserkörper eindringen, können die Grundwassersituation beeinflussen.

Die genauen Auswirkungen auf den Grundwasserstand sind abhängig von den Rahmenbedingungen des jeweiligen Vorhabens und den hydrogeologischen Bedingungen. Sie müssen im Zusammenhang mit Genehmigungen abgeschätzt, bewertet und berücksichtigt werden. Von Bedeutung ist, dass keine nachteiligen Auswirkungen auf benachbarte/bestehende Nutzungen / Gebäude und andere Anlagen sowie auf die Umwelt (z.B. Bäume) entstehen dürfen.

Dynamik der Grundwasserstände im Stadtgebiet

Insgesamt liegen von 35 Messstellen, die im Stadtgebiet verteilt sind, kontinuierliche Grundwasserstandsmessungen vor, so dass sich diese Messreihen darstellen und auswerten lassen. Dabei liegen von 19 Messstellen mittlerweile 9- bis10-jährige Zeitreihen vor (vgl. z.B. Diagramm 20). Darunter werden 4 langjährige Messreihen im Stadtgebiet vom staatlichen Wasserwirtschaftsamt Nürnberg betrieben und reichen z.T. noch weiter zurück. Diese werden stets aktuell vom Gewässerkundlichen Dienst Bayern bereitgestellt [21]. Fünfzehn solcher langjährigen Messreihen wurden im Rahmen des städtischen Grundwassermonitorings aufgezeichnet. Sechzehn Grundwasserganglinien des Grundwassermonitoringprogrammes mit kürzeren Laufzeiten können die Erkenntnisse ergänzen. Allerdings können acht der insgesamt 35 Messreihen nicht bzw. nur teilweise in die Auswertungen einbezogen werden. Es handelt sich dabei um:

- den Tiefen Brunnen auf der Kaiserburg: Die Grundwasserganglinie des Tiefen Brunnen (Diagramm 23; Messstelle des staatlichen Wasserwirtschaftsamts Nürnberg) unterscheidet sich von jeder anderen Grundwasserganglinie im Stadtgebiet. Ein Grund für den anderen Verlauf wird in der großen Tiefe von ca. 43 m (Flurabstand) und entsprechend anderen (hydro-)geologischen Voraussetzungen (z.B. geringe Klüftigkeit / Wasserwegsamkeit) gesehen. Alle anderen Grundwassermessstellen mit entsprechenden Messreihen sind in Bereichen mit Flurabständen zwischen 0,7 m und 12 m situiert, was den üblichen Gegebenheiten im Stadtgebiet entspricht Die Zeitreihe des Tiefen Brunnens wurde daher in die Auswertungen nicht mit einbezogen.
- Messreihen mit deutlichen urbanen Einflüssen: Vier Messreihen sind unverkennbar durch Grundwasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung im näheren Umfeld beeinflusst (stärkere Schwankungen/ Absenkungen in den Sommermonaten; vgl. Diagramm 21). Drei Grundwassermessstellen zeigen temporäre oder auch längerfristige deutliche Einflüsse durch Bauwasserhaltung, Sanierungsmaßnahmen oder Hochwasserschutzmaßnahmen (GWM_B1985, GWM_N0318, GWM_B1836).

Die nachfolgenden Auswertungsergebnisse beziehen sich auf den Grundwasserbeobachtungszeitraum von Ende 2012 bis Ende 2022.

Der Grundwasserschwankungsbereich in Nürnberg

Der durchschnittliche Grundwasserschwankungsbereich zwischen dem höchsten und dem niedrigsten gemessenen Grundwasserstand auf Basis von 14 langjährigen Zeitreihen liegt im Beobachtungszeitraum im Mittel bei 1,25 Meter (Amplitude). Die Spannbreite der Amplitudenhöhe reicht von 0,5 m bis 1,9 m. Das untere und obere 25%-Quantil liegt bei ca. 1m und 1,5m.

Bei zwei Messstellen sind größere Amplituden von ca. 1,9 m zu verzeichnen: Bei der Messstelle „Reichelsdorf Q7“ des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg, in unmittelbarer Nähe der Rednitz, liegen 80 % der Messwerte in einem Schwankungsbereich von rund 30 cm, jedoch weichen einige kurzzeitige Ausschläge nach oben um ca. 1,6 m vom mittleren Grundwasserstand ab. Anders in der Grundwassermessstelle in Kornburg (GWM_B1071 auf einem höher gelegenen Gelände), bei der 80 % der Messwerte im Schwankungsbereich von 1 Meter liegen. Die höchsten Werte konzentrieren sich im Jahr 2013 (Diagramm 22).

Die Amplitudenhöhe des Grundwasserschwankungsbereichs nimmt bei Standorten mit größerem Flurabstand leicht ab (vgl. Diagramm 20).

Da sich über längere Zeiträume der Schwankungsbereich aufgrund möglicher zusätzlicher Extreme noch vergrößern kann, können die bisherigen Angaben zum Grundwasserschwankungsbereich von +/- 1 m, d.h. einer Amplitudenhöhe von 2 m der Grundwasserberichte 2011 und 2017, als Orientierungsgröße für Grundwasserschwankungen in Nürnberg weiterhin gelten.

Hoch- und Tiefstände in den langjährigen Zeitreihen

Die Auswertungen der Ganglinien hinsichtlich der Peaks ist in Tabelle 7 zusammengestellt.

Entwicklung der Grundwasserstände in den letzten 10 Jahren

Für die Entwicklungen des Grundwasserstandes der letzten 9 – 10 Jahre konnten 18 Zeitreihen im Stadtgebiet ausgewertet werden. Bei 6 dieser Zeitreihen liegen zwar einzelne Aufzeichnungslücken wegen technischer Defekte vor, sie waren aber dennoch auswertbar. Die Messreihen mit urbaner Beeinflussung (hier vier Stück) werden getrennt betrachtet.

In der Region ist die Grundwasserneubildung in den letzten 10 Jahren zurückgegangen (vgl. Kapitel 2.3.3). Entsprechend ist, wie in vielen umliegenden Messstellen, auch im Stadtgebiet ein Sinken der Grundwasserpegel zu erwarten gewesen. Die naturräumliche Lage bedingt jedoch eine geringere Auswirkung als in flussgebietsfernen Gegenden (vgl. Kapitel 1.3.2 und 2.3.3).

Zeitraum	Witterungsbedingte Hintergründe	Ausprägung
Hochstände		
Juni 2013	Niederschlagsereignis an 2 Tagen; 5- bis 10-jährliches Hochwasser	Ausgeprägtes Hoch bei nahezu allen Messstellen, teilweise stark verzögertes Auftreten (ca. 4 bis 40 Tage); 60 cm bis 80 cm über dem Mittelwert
Frühjahr 2018	Frühjahreshochstand, vorausgegangen sind ein niederschlagsreicher Sommer und leicht überdurchschnittliche Winterniederschläge	Bei ca. 80 % der Messstellen auftretend; Peak meist kleiner als 2013 (durchschnittlich 50 cm); nicht, oder sehr stark verzögert in Messstellen der nördlichen Innenstadt
Zwischen Aug. 2021 und Jan. 2022	Vorausgegangen war ein regenreicher Sommer 2021 und leicht überdurchschnittliche Winterniederschläge	Weniger deutlich in den Ganglinien erkennbar und nur bei gut der Hälfte aller Messreihen
Niedrigstände		
August 2022	Vorausgegangen waren sehr heiße und niederschlagsarme Monate	Ausgeprägtes Augusttief in ca. 90 % der Messstellen deutlich erkennbar; Absenkung v.a. bei Messstellen mit geringen Flurabständen (< 3 m); dort im Durchschnitt 45 cm unter dem Mittelwert
2019 - 2020	ein winterlicher Hochstand ist zwischen diesen Jahren nicht oder nur schwach erkennbar, der Winter 2019/20 war überdurchschnittlich warm und niederschlagsarm	Bei mehr als 50 % der Messstellen erkennbar; Grundwasserstand im Durchschnitt um 20 – 25 cm unterhalb des Mittelwertes

Tabelle 7: Hoch- und Tiefstände der 10-jährigen Zeitreihen von Datenlogger-Messreihen *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Am Beginn der Messreihen steht ein Grundwasserhöchststand infolge des Niederschlagsereignisses im Juni 2013. Ab 2018 folgen, mit Ausnahme des Jahres 2021, sehr trockene Jahre. Auch diese Gegebenheiten verursachen den Trend zu abnehmenden Grundwasserständen in den letzten 10 Jahren (Ende 2012 bis Ende 2022).

Bei 60 % aller, jeweils über ganze Jahre ausgewerteten Messstellen, ist ein Absinken der Grundwasserstände während der letzten 10 Jahre festzustellen. Im Mittel liegt das Minus bei 20-30 cm (vgl. Diagramm 24).

Die größeren Absenkungen mit > 0,3 m bis max. 0,7 m werden öfter bei den grundwasserfernen Standorten festgestellt. Teilweise kann jedoch auch ein anthropogener Einfluss bei den größeren Absenkungen nicht ausgeschlossen werden.

Bei 6 Messstellen ist kein eindeutiger Trend in eine Richtung zu verzeichnen. Drei dieser Messstellen befinden sich in Bereichen, in denen seit längerem ein stetiger Grundwasseranstieg in ehemaligen Grundwasserabsenktrichtern durch Reduzierung von Grundwasserentnahmemengen festgestellt wurde. Entsprechend können sich dort die beiden Effekte in etwa aufheben.

Entwicklung der Grundwasserstände in 10 Jahren

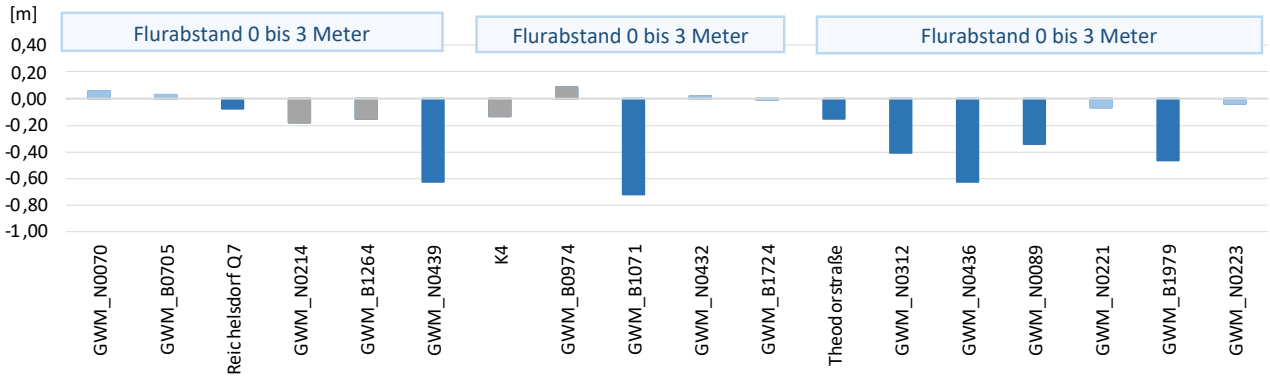


Diagramm 24: Entwicklungen der Grundwasserstände bei 18 Grundwassermessstellen mit langjährigen Zeitreihen; grau: entnahmebedingt beeinflusste Zeitreihen, hellblau: ohne eindeutigen Trend; (Betrachtungszeitraum: Ende 2012 bis Ende 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

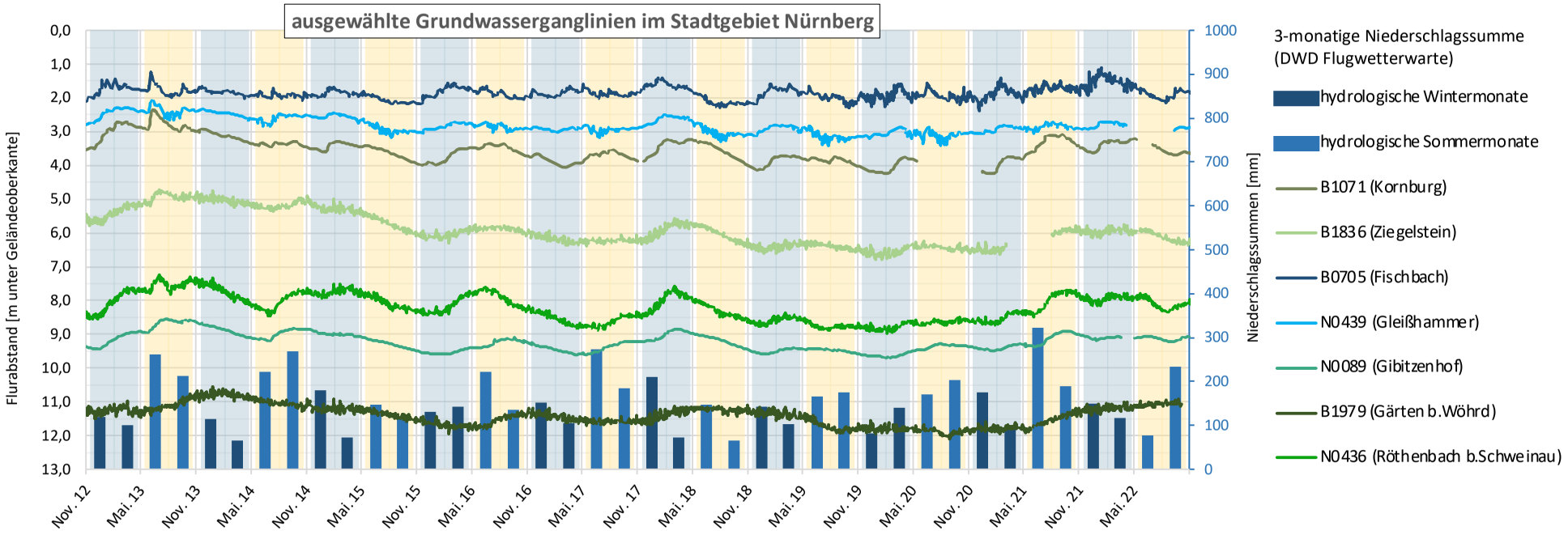


Diagramm 20: Ausgewählte 10-jährige Grundwasserganglinien von Datenloggermessstellen des Grundwassermonitorings *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

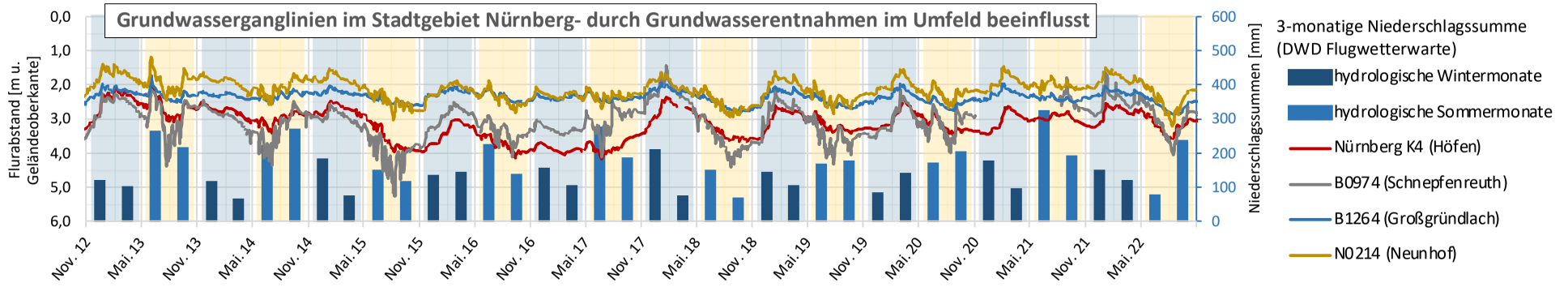


Diagramm 21: Grundwasserganglinien von Messstellen, die durch nahegelegene Entnahmen aus Bewässerungsbrunnen deutlich geprägt sind *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

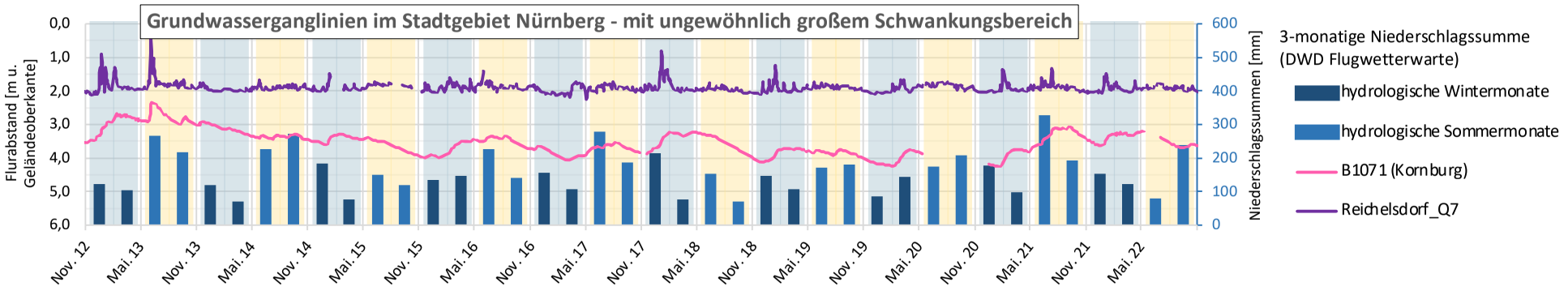


Diagramm 22: Grundwasserganglinien mit größeren Schwankungsbreiten ohne entnahmebedingte Ursachen *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

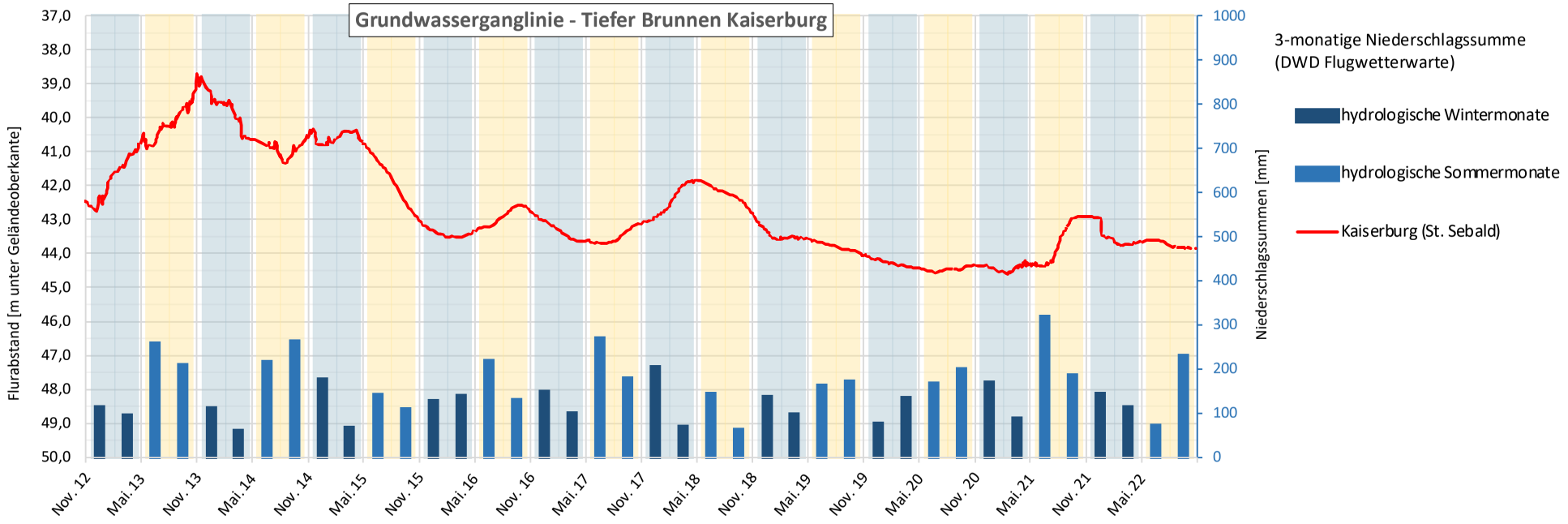


Diagramm 23: Grundwasserganglinie des Tiefen Brunnen auf der Kaiserburg Nürnberg *(Messstelle des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

1.3.3 Aktualisierte Grundwasserkarten

Die mit diesem Grundwasserbericht vorgelegten aktualisierten Grundwasserkarten wurden auf Basis der Ergebnisse der Stichtagsmessung vom 08.03.2022 bis 25.03.2022 erstellt (Anlagen 1 und 2).

Datengrundlagen und Auswertungsmethodik

Insgesamt wurden an 409 Messstellen im fraglichen Zeitraum Pegelmessungen durchgeführt. Das qualifizierte Grundwassermessnetz wurde dabei um Pegel aus vorhabenbezogenen Grundwasserüberwachungen ergänzt. Die Wasserspiegellagen der Oberflächengewässer wurden während der Stichtagsmessung nicht neu ermittelt, sondern auf Basis der bisherigen Erfahrungswerte angenommen und so in die Auswertungen mit einbezogen. Die neuen Grundwasserkarten wurden im Auftrag des Umweltamtes der Stadt Nürnberg von Genesis Umwelt Consult GmbH erstellt. Die Zwischenergebnisse der Auswertungen und Interpolationen wurden erneut mit den Fachexperten aus dem staatlichen Wasserwirtschaftsamt Nürnberg, dem GeoZentrum Nordbayern (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg) sowie dem Umweltamt in zwei Fachgesprächen diskutiert. Die Diskussionsergebnisse flossen in das Endergebnis ein. Für die Flurabstandskarte wurde die interpolierte Grundwasseroberfläche mit dem digitalen Geländemodell aus der Laserscan-Befliegung (DGM; Bayerische Vermessungsverwaltung) mit einem 5 x 5 m Raster verschnitten.

Die neuen Karten: Ergebnisse – Besonderheiten – Veränderungen

Im Großen und Ganzen werden mit den aktuellen Auswertungen die bisherigen Ergebnisse der Grundwasserkarten bestätigt. Kleinere anthropogen bedingte oder natürliche Veränderungen des Grundwasserspiegels bilden sich bei dem Bearbeitungsmaßstab von 1:25.000 kaum wahrnehmbar ab.

Die Stichtagsmessung 2022 wurde gezielt im hydrologischen Frühjahr (März 2022) durchgeführt um möglichst hohe Grundwasserstände abbilden zu können. Nachdem jedoch die Winterniederschläge des Winter 2021 / 2022 bis einschließlich März mit nur 84 % im Vergleich zum langjährigen Mittel defizitär waren, war die Grundwasserneubildung bis dahin zu gering und die Grundwasserstände sanken von einem Januar-Hoch bis zum März ab. Die Grundwasserstände im März 2022 blieben damit unter den frühjahrsüblichen Grundwasserhochständen. Erst im April folgten Frühjahrs-Regenereignisse, die den Grundwasserstand noch einmal vor dem hydrologischen Sommer kurzfristig angehoben haben. Die Auswertung der 23 Datenloggermessstellen zeigt, dass die Grundwasserstände im März 2022 zwar großteils (zu 78 %) mit 0-35 cm über dem jeweiligen Mittelwert lagen, jedoch gleichzeitig mit 10 cm bis 20 cm noch unterhalb des durchschnittlichen Grundwasserhochstandes. Zudem lagen die gemessenen Werte im Durchschnitt um 16 cm unterhalb jenen der Stichtagsmessung Oktober 2010. Im Ergebnis dieser Auswertung können die veröffentlichten Grundwasserkarten den verschiedenen Grundwassersituationen zugeordnet werden (vgl. Tabelle 8).

Größere Abweichungen gegenüber den Grundwasserkarten 2011 und 2017 haben sich methodisch bedingt im Bereich Kleinreuth bei Schweinau / Tiefes Feld und in Altenfurt ergeben. Hier sind die aktuellen Auswertungen wegen einer schlechten Datenlage ungenau. Der Grund hierfür ist im ersten Fall die Bauwasserhaltung im Rahmen des dortigen U-Bahnbaus. Im Bereich Altenfurt wurden die Messwerte zeitlich versetzt erhoben und mussten daher auf Basis einer Doppelmessung interpoliert werden. In diesen Bereichen bilden die Grundwasserkarten der Grundwasserberichte 2011 und 2017 die tatsächlichen Grundwasserverhältnisse deutlich besser ab.

Grundwasserkarten aus Grundwasserberichten	Grundwassersituation
Grundwasserbericht 2011 Stichtagsmessung Oktober 2010 nach einem niederschlagsreichen Spätsommer	Mittlere Grundwasserstände
Grundwasserbericht 2017 Stichtagsmessung Okt 2016 Nach einem trockenen Sommer	Niedrige Grundwasserstände
Grundwasserbericht 2023 Stichtagsmessung März 2022 nach defizitären Winterniederschlägen	Mittlere Grundwasserstände

Tabelle 8: Grundwassersituation bei den Grundwasserkarten der Grundwasserberichte Nürnberg
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Südwestlich von Kornburg, im Bereich von Greuth, sind die Grundwasserverhältnisse aufgrund geringer Datendichte noch unsicher. Daher werden hier die interpolierten Grundwassergleichen als „vermutet" ausgewiesen.

Zwischen Kornburg und Katzwang ergibt sich aufgrund einer Veränderung im Grundwassermessnetz ein veränderter Verlauf der Grundwassergleichen. Zudem gab es neue Hinweise auf eine vergrößerte Ausdehnung des schwebenden Grundwasserkörpers am Roten Bühl.

Der Grundwasserstand des Tiefen Brunnens der Kaiserburg wurde erstmals in die Interpolation einbezogen und erscheint plausibel. Bislang bestand Unsicherheit, wie gut der Grundwasserspiegel der Kaiserburg den Hauptgrundwasserleiter der Stadt Nürnberg abbildet. Durch die Einbeziehung dieser Messstelle verlagern sich die Grundwasserganglinien um den Bereich von St. Sebald deutlich nach Süden bis dann das Grundwasser mit größerem Gefälle der Pegnitz zuströmt.

Eine etwas zu geringe Messstellendichte bewirkt in Erlenstegen Ost interpolationsbedingt einen vertikalen Versatz der Grundwassergleichen.

Bereiche ohne Informationen auf den Grundwasserkarten sind: Buchenbühl, Tiergarten, Brunn / Netzstall / Birnthon, Katzwang West und Mühlhof / Krottenbach. In diesen Bereichen liegen oft, aufgrund der randlichen Lage, zu wenige geeignete Messstellen vor. Im Bereich Buchenbühl sind durch Grundwassersanierungsmaßnahmen die Grundwasserverhältnisse aktuell leicht gestört.

Schwebende Grundwasserstockwerke, die sich kleinräumig über dem Hauptgrundwasserleiter ausbilden, wurden bereits in den Grundwasserkarten der Grundwasserberichte 2011 und 2017 dargestellt. Lediglich im Bereich des Roten Bühl im Süden von Nürnberg wurde die Ausdehnung aktuell etwas erweitert. Die Darstellung der schwebenden Grundwasserstockwerke kann jedoch nicht vollständig sein, da diese oft kleinräumig auftreten und daher oft nicht bekannt sind.

Hinweise zur Anwendung der Grundwasserkarten

Mit dem vorliegenden Grundwasserbericht werden nun wieder aktualisierte Grundwasserkarten vorgelegt, die weitestgehend das gesamte Stadtgebiet Nürnberg abdecken. Es ist generell das obere Grundwasserstockwerk (im Wesentlichen Quartär und Sandsteinkeuper) abgebildet. Wie in Tabelle 8 erläutert, bilden die Grundwasserkarten der verschiedenen Jahre unterschiedliche Grundwassersituationen ab.

Die Grundwasserkarten stellen eine Interpolation mit einer Maßstabsgenauigkeit von 1:25.000 dar. Sie sind gute Grundlagen- und Erstinformationen für die vielfältigen Fragestellungen und haben sich dahingehend bewährt. Es empfiehlt sich zu einer solchen Ersteinschätzung alle Grundwasserkarten aus den verschiedenen Jahren heranzuziehen. Standortbezogene Aussagen sind hieraus jedoch nicht möglich, Detailuntersuchungen für konkrete Fragestellungen ersetzt die Karte nicht. Zu beachten ist zudem, dass grundsätzlich ein flacherer Zutritt von Stau- oder Schichtwasser oder das Vorkommen kleinräumiger schwebender Grundwasserstockwerke möglich ist.

Grundsätzlich liegen die Baugrunderkundung und die Feststellung des relevanten Grundwasserstandes bzw. des Bemessungswasserstandes in der Eigenverantwortung des Bauherrn bzw. Hausbesitzers. Für Nürnberg liegt hierzu keine allgemeine Übersicht vor, da über das Stadtgebiet verteilt keine ausreichende Anzahl auswertbarer 30-jähriger Zeitreihen und auch bislang keine flächendeckenden Messwerte für eine Grundwasserhochstand-Situation vorliegen. Für den Grundwasserbericht 2017 wurde eine Planungshinweiskarte für wassersensible Bereiche im Stadtgebiet Nürnberg erstellt und ist auf der Homepage des Umweltamtes veröffentlicht. Auch diese Karte kann Orientierung bei einer Ersteinschätzung geben [51].

2 Nürnbergs Wasserhaushalt im Klimawandel – Herausforderungen – Maßnahmen

Die differenzierte Darstellung und Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Nürnberger Wasserhaushalt sowie die sich daraus ergebenden Herausforderungen stellen den zweiten Schwerpunkt des vorliegenden Grundwasserberichtes dar.

Die wasserwirtschaftlichen Herausforderungen der Zukunft wurden bereits in den letzten Grundwasserberichten 2011 und 2017 [12] [49] angesprochen. Im Folgenden werden sie vertiefend aufgezeigt. Im Wesentlichen geht es dabei um zunehmende Wetterextreme, d.h. um Zuwenig an Wasser während langanhaltender Trockenzeiten und temporär um Zuviel an Wasser bei Starkregen. Es werden Strategien vorgestellt, mit denen die Stadt Nürnberg diesen Herausforderungen begegnet und im Zuge der Stadtentwicklung und Daseinsvorsorge umsetzt.

Grundwasser ist ein wichtiger Baustein im Wasserhaushalt. Grundwasserkörper sind dabei große Wasserspeicher mit z.T. erheblichem Wasserdargebot.

2.1 Der Wasserhaushalt

Die wesentlichen Komponenten des natürlichen hydrologischen Wasserhaushaltes sind Niederschlag und Verdunstung sowie der oberirdische und unterirdische Zu- und Abfluss (vgl. Abbildung 20).

Niederschlagswasser Regen, Schnee, Hagel



Foto: Regenschleier *(Quelle Timo Nickl)*

Verdunstendes Wasser Wasser, das durch Temperatureinwirkung und Sonneneinstrahlung in Form von Wasserdampf in die Atmosphäre entweicht

Verdunstung erfolgt über unbewachsene Oberflächen (z.B. Dächer, Straßen offene Wasserflächen) und bewachsene Oberflächen (Vegetation) = Evapotranspiration



Foto: aufsteigender Bodennebel *(Quelle: Stadt Nürnberg)*

oberirdische Gewässer Flüsse, Landgräben, Stillgewässer, künstliche Gewässer (z.B. der Main-Donau-Kanal)



Foto: Pegnitz *(Quelle: Stadt Nürnberg)*

unterirdische Gewässer Grundwasser

unterirdisches Wasser, das die Hohlräume im Untergrundgestein zusammenhängend ausfüllt



Foto: Tiefer Brunnen, wissenschaftlicher Tauchgang 2012 *(Quelle: Uli Kunz)*

Abbildung 20: Faktoren des Wasserhaushaltes *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Alle vier Faktoren des Wasserhaushaltes greifen ineinander. Die Wasserhaushaltsgleichung für ein langjähriges Mittel eines natürlichen Gebietshaushaltes lautet:

Niederschlag	=	Verdunstung	+	Oberirdischer Abfluss	+	Unterirdischer Abfluss (Grundwasserneubildung)
(100%)		(ca. 60–70 %)		(ca. 10-20%)		(ca. 10-20%)

Die jeweiligen prozentualen Anteile an den Faktoren sind in den Gebieten unterschiedlich und im Wesentlichen abhängig von der Bodenbeschaffenheit (Bodenart, Bodenverdichtung, Versiegelungsgrad), von der Art des Bewuchses/ der Vegetation (z.B. Wald, Grasland, Acker), vom Relief (Gefälle) und den Klimafaktoren (z.B. Temperatur, Wind, Sonneneinstrahlung).

Urbaner Wasserhaushalt

In einer dicht bebauten Stadt ist grundsätzlich der natürliche Wasserhaushalt durch Bebauung und Infrastruktur, durch Grundwasserentnahmen und durch Wasserzuleitungen stark verändert. Mit Ausnahme der Wasserbeileitung für die Bewässerung des Knoblauchslandes (Kapitel 2.5.2) verschieben diese anthropogenen Aktivitäten den städtischen Wasserhaushalt in Richtung eines verstärkten Oberflächenabflusses (oberirdischer Abfluss/ Abfluss über Oberflächengewässer) und einer verringerten Wasserspeicherung im Untergrund (unterirdischer Abfluss). Eine erste Wasserbilanz für Nürnberg wurde bereits im letzten Grundwasserbericht 2017 [12] in Kapitel 2.4.3 vorgestellt. Abbildung 21 verdeutlicht die Störung des Wasserhaushalts und die Verschiebung der Faktoren durch Urbanisierung/ Versiegelung.

Die Wasserbeileitungen für Trink- und Bewässerungswasser (vgl. Kapitel 2.4 und 2.5.2) stellen eine positive Ergänzung des Nürnberger Wasserhaushalts dar. Während das zugeleitete Trinkwasser nach der Nutzung vorwiegend in die Abwasser- oder Trennkanalisation gelangt und damit am Ende über Oberflächengewässer (z.B. bei den Klärwerken) abfließt, wird das beigeleitete Bewässerungswasser für den Gemüsebau im Knoblauchsland weit überwiegend von den Pflanzen aufgenommen und teilweise transpiriert/ von Blattoberflächen verdunstet, zum Teil mit der Ernte abgetragen und dem Lebensmittelsektor zugeführt. Die Auswirkungen auf den Grundwasserspeicher sind im Verhältnis gering.

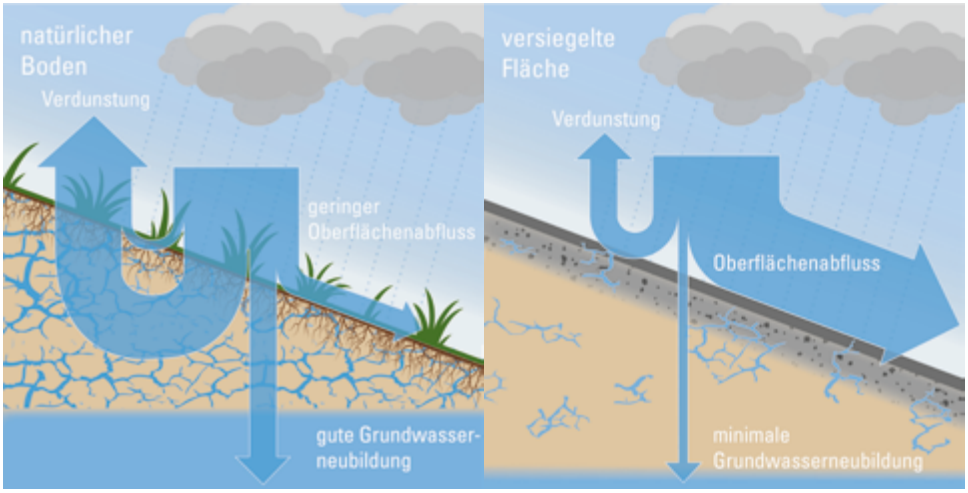


Abbildung 21: veränderte Wasserbilanz durch Versiegelung: Wege des Niederschlags bei natürlichem und bei befestigtem Untergrund *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Caroline Stumpf)*

Wasserhaushalt im Klimawandel

Ändert sich das Klima, so wirkt sich dies in vielfältiger Weise auf den Wasserhaushalt und die Gewässerqualität aus.

Wie stark sich das Klima ändert, hängt u.a. von der Umsetzung und vom Erfolg von Klimaschutzmaßnahmen ab. Im Klima-Report Bayern 2021 des Bayerischen Staatsministeriums [52] werden daher v.a. zwei Szenarien betrachtet: Bei dem einen Szenario ist Voraussetzung, dass die Begrenzung der Störung des Klimasystems gemäß des Pariser Übereinkommens gelingt (Szenario RCP2.6: „2-Grad-Obergrenze"). Bei dem anderen Szenario wird eine Entwicklung „ohne Klimaschutz" (RCP8.5) zugrunde gelegt. Dieses beschreibt den Worst-Case.

Insgesamt wird davon ausgegangen, dass in unseren Breiten der winterliche Niederschlag zunimmt und die Sommer dagegen trockener werden, Niederschläge fallen häufiger als Starkregen. Wegen steigender Temperaturen verlängert sich die Vegetationsperiode, gleichzeitig wird es jedoch zu längeren Trockenperioden kommen und die Verdunstung nimmt zu [52].

Die Auswirkungen des Temperaturanstiegs und der vermehrten/verlängerten Trockenzeiten sind: Niedrigwasser in Oberflächengewässern und temporäre Austrocknung kleinerer Gewässer (Abbildung 22), erhöhte Wasserbedarfe insbesondere für die landwirtschaftliche Bewässerung, Verringerung der Wasservorräte verbunden mit erhöhten Anstrengungen zur Wasserversorgung und eine Verschlechterung der Gewässerökologie.

Die Zunahme an Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen haben ein erhöhtes Risiko für Überflutungen und Überschwemmungen zur Folge.

Die zukünftig zu erwartenden Änderungen bei Niederschlag und Temperatur (v.a. Regen statt Schnee, Starkregen und damit schneller Abfluss, Zunahme der Verdunstung) werden in Summe zu Lasten der Grundwasserneubildung gehen [53].



Abbildung 22: Nahezu ausgetrockneter Flusslauf der Gründlach am 16.08.2022, nach einer langanhaltenden Trockenzeit *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

2.2 Wasserstrategien – Rahmenbedingungen und Herausforderungen

Extremsituationen in den letzten Jahren haben das Thema „Wasser" nochmals stärker in den öffentlichen und politischen Fokus gerückt. Die Sicherstellung der Versorgung mit Trinkwasser für die Bevölkerung sowie Brauchwasser für Industrie, Landwirtschaft / Gartenbau und Energieversorgung ist dabei eine zentrale Aufgabe. Die Konsequenzen von großer Trockenheit für die Natur- und Kulturlandschaften (incl. Wälder) sowie Gewässer erfordern weiterreichende Maßnahmenpakete. Gleichzeitig gilt es, den Gefahren und Schäden durch Starkregen und Überschwemmungen vorzubeugen bzw. sie zu minimieren. Wasser ist existentiell und lebensnotwendig, daher wurden und werden auf internationaler und nationaler Ebene Strategien, Konzepte und Programme entwickelt, um mehr Nachhaltigkeit beim Umgang mit der Ressource Wasser zu erreichen. Die Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgt auch und insbesondere auf kommunaler Ebene.

2.2.1 Globale und nationale Wasserstrategien

Globaler Aktionsplan – UN-Wasserdekade

Vom 22. bis 24.März 2023 fand die erste UN-Wasserkonferenz seit 46 Jahren statt. Eine weltweit drohende Wasserkrise und die Dringlichkeit, nachhaltige Entwicklungen bei den wasserbezogenen Zielen voranzutreiben, waren Auslöser und veranlassten zu einem globalen Aktionsplan mit 700 Selbstverpflichtungen. Auf einer Folgekonferenz in 2025 soll die Umsetzung der angekündigten Vorhaben geprüft werden.

Die Mitgliedstaaten und damit auch Deutschland sind aufgerufen, sich durch Aktionen und Initiativen zur Information, Bildung sowie Aus- und Fortbildung für die Realisierung eines nachhaltigen Wasserressourcen- und Gewässermanagements einzusetzen, um somit die UN-Wasserdekade zu unterstützen.

Bereits 2011 wurde von den Vereinten Nationen die UN-Wasserdekade beschlossen und 2017 mit einer Resolution einstimmig verabschiedet. Sie findet vom 22. März 2018 bis zum 22. März 2028 statt und verfolgt im Wesentlichen zwei Ziele: die Verbesserung der Wissensverbreitung zum Thema Wasser und Gewässerschutz, einschließlich Informationen zu den wasserbezogenen Nachhaltigkeitszielen (SDG) der 2030-Agenda für Nachhaltige Entwicklung und die Stärkung der Kommunikationsmaßnahmen zur Umsetzung der wasserbezogenen Ziele. [54] [55].

Pläne und Regelungen der Europäischen Union (EU)

Auch die Europäische Union (EU) befasst sich aufgrund der staatenübergreifenden Aufgaben mit dem Schutz und der Bewirtschaftung von Gewässern. Ein starkes Instrument wurde mit der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 eingerichtet, die anspruchsvolle Ziele zum Schutz der Gewässer festschreibt. Bis spätestens 2027 soll in den Oberflächengewässern ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand und im Grundwasser ein guter chemischer sowie ein guter mengenmäßiger Zustand erreicht werden (vgl. Kapitel 1.1.5.). Zudem wurde der Schutz und die Verbesserung der Gewässer auch im Zielekatalog des „Green Deal" der Europäischen Kommission (EC 2019 [56]) aufgenommen – beispielsweise die Reduktion von Nähr- und Schadstoffen in der „Vom-Hof-auf-den-Tisch-Strategie", der Strategie für eine schadstofffreie Umwelt oder die Renaturierung von Auen und Flüssen in der Biodiversitätsstrategie. Zuletzt wurde die EU-Trinkwasserrichtlinie, welche die Qualität des Trinkwassers regelt, am 16.12.2020 geändert. Hier wurden unter anderem die Anforderungen an einen Zugang für Alle zu einer sicheren Wasserversorgung und Abwasserbehandlung aus der ersten europäische Bürgerinitiative – bekannt unter "Right2Water" – berücksichtigt [57]. Zahlreiche weitere EU-Richtlinien behandeln Wasserbelange [57], z.B. die Grundwasser-Richtlinie, Hochwasserrichtlinie, Badegewässerrichtlinie, Kommunalabwasserrichtlinie, Nitrat-Richtlinie.



Abbildung 23: Titelblatt zum Bericht über 20 Jahre EG Wasserrahmenrichtlinie *(Quelle: Umweltbundesamt)*

Deutschlands Nationale Wasserstrategie

Deutschland hat am 15. März 2023 im Bundeskabinett die Nationale Wasserstrategie verabschiedet [58]. Auch hier ist Hintergrund der zunehmende Druck, dem die Wasserressourcen ausgesetzt sind. Wasserbezogene Maßnahmen aller relevanten Sektoren, von der Landwirtschaft und dem Naturschutz, über Verwaltung und Verkehr, Stadtentwicklung und Industrie, sollen gebündelt werden. Die Strategie, die auf den Zeitraum bis 2050 ausgelegt ist, zielt mit einem umfassenden Aktionsprogramm aus 78 Maßnahmen letztlich darauf ab, den großen Herausforderungen der Wasserwirtschaft zu begegnen, einen naturnahen Wasserhaushalt wiederherzustellen und die Wasserwirtschaft klimaresilient zu machen.

Hauptthemen sind: hochwertige und bezahlbare Trinkwasserversorgung, saubere Gewässer und Grundwasser, naturnaher Wasserhaushalt, Abwasserentsorgung/-abgabe nach dem Verursacherprinzip, Anpassung der Wasserversorgungs-Infrastruktur und der Wassernutzung an die Folgen der Klimakrise.

Von großer Bedeutung ist u.a. die Ausrichtung der Stadtentwicklungsplanung auf die wassersensible Gestaltung. Weiterhin sind die Kommunen in die Aufgaben des qualitativen und quantitativen Gewässerschutzes, der nachhaltigen Gewässernutzungen (u.a. Wasserentnahmen), Überwachung, Naturschutz und Gewässerbewirtschaftung eingebunden. Weitere Aufgaben sind die Förderung lokaler und regionaler landwirtschaftlicher Produkte und Vermarktungsnetzwerke sowie die Öffentlichkeitsarbeit zur Schaffung des Bewusstseins für den Schutz der Ressource Wasser und für die Akzeptanz von Veränderungen und Maßnahmen.

Wasserzukunft Bayern 2050

Am 28.10.2020 wurde mit der Regierungserklärung „Wasserzukunft Bayern 2050" des Bayerischen Staatsminister für Umwelt und Verbraucherschutz das Thema Wasser zu einem zentralen Aufgabengebiet und auch in Bayern zu einem Schwerpunktthema gemacht [59].

Als zentrale Säulen wurden benannt: Wasser speichern - Wasser verteilen - Wasser schützen - Wasser schätzen - Wasser gesamtstaatlich denken.

Wesentliche Aspekte dabei sind Wasserspeicher- und Überleitungssysteme, z.B. die Donau-Main-Überleitung, ein bayernweiter Speichercheck und ein Generalplan Niedrigwasserspeicher. Bei der Wasserversorgung sind es v.a. die Vernetzung der Wasserversorger, der Neubau von Verbundleitungen und ein Zukunftskonzept Fernwasserversorgung, u.a. wird über eine zusätzliche Fernwasserleitung „West" nachgedacht (Wasser aus dem Bodensee für Nordbayern) inkl. eines Ringschlusses über Wasserspeicher (Stauseen) (vgl. auch Projekt „SÜSWasser" 2021, [60]). Zum Programm gehören außerdem ein bayernweiter Aktionsplan für Bewässerung, wobei es um intelligente Bewässerungskonzepte geht und darum, notwendige Bewässerungsmaßnahmen nachhaltig und umweltverträglich zu gestalten. Weiter widmet sich die Offensive dem Gewässerschutz in einem Verantwortungspaket, einer Bewusstseinsoffensive „Wasserland Bayern", dem Wasser mit Sozialfunktion, d.h. dem Wasser als wichtigen Baustein für die Lebensqualität inkl. der Erholungsfunktion. Die Abwasserinfrastruktur, die Stärkung des Landschaftswasserhaushalts, Hochwasser und Ökologie sind weitere Aspekte, ebenso wie die Gestaltung urbaner Räume nach dem „Schwammstadtprinzip" [61]. Zudem hat der bayerische Ministerpräsident in seiner Regierungserklärung vom 21.07.2021 die Einführung eines sogenannten Wassercents angekündigt, welcher einen Aufschlag beim Wasserpreis darstellt. Mit dessen Hilfe sollen einerseits Bürger und Unternehmen zum sorgsamen Umgang mit Wasser angehalten werden und andererseits die Lasten und Nutzen von Wasserentnahmen, Wasserbereitstellung und den nötigen Schutzmaßnahmen ausgeglichen werden.

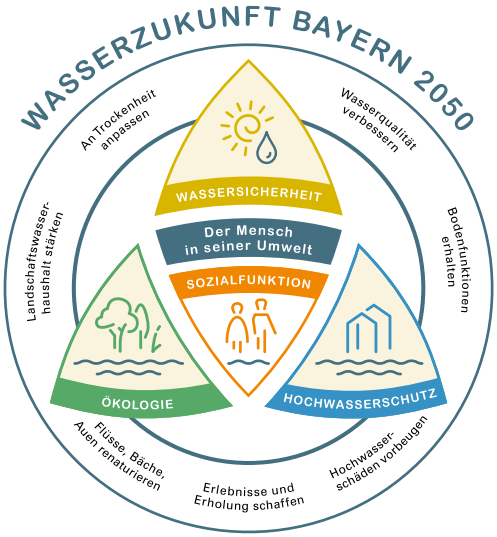


Abbildung 24: Logo Wasserzukunft Bayern 2050 *(Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz)*

2.2.2 Wasserwirtschaftliche Verhältnisse

Im Folgenden werden zunächst die besonderen Rahmenbedingungen in Nürnberg aufgezeigt.

Wasserressourcen in Nürnberg

Nürnberg befindet sich mit einer durchschnittlichen Jahres-Niederschlagshöhe von ca. 600 mm/Jahr (Durchschnitt zwischen 1991-2020, vgl. Kapitel 2.2.1) in einem vergleichsweise regenarmen Gebiet [62]. Das Mittel des Jahresniederschlags in Deutschland liegt bei 790 mm im Vergleichszeitraum [63].

Damit verknüpft ist die mittlere jährliche Grundwasserneubildungsrate, die sich ebenfalls in der unteren Hälfte im deutschlandweiten Vergleich befindet [64] (Näheres dazu in Kapitel 2.2.3).

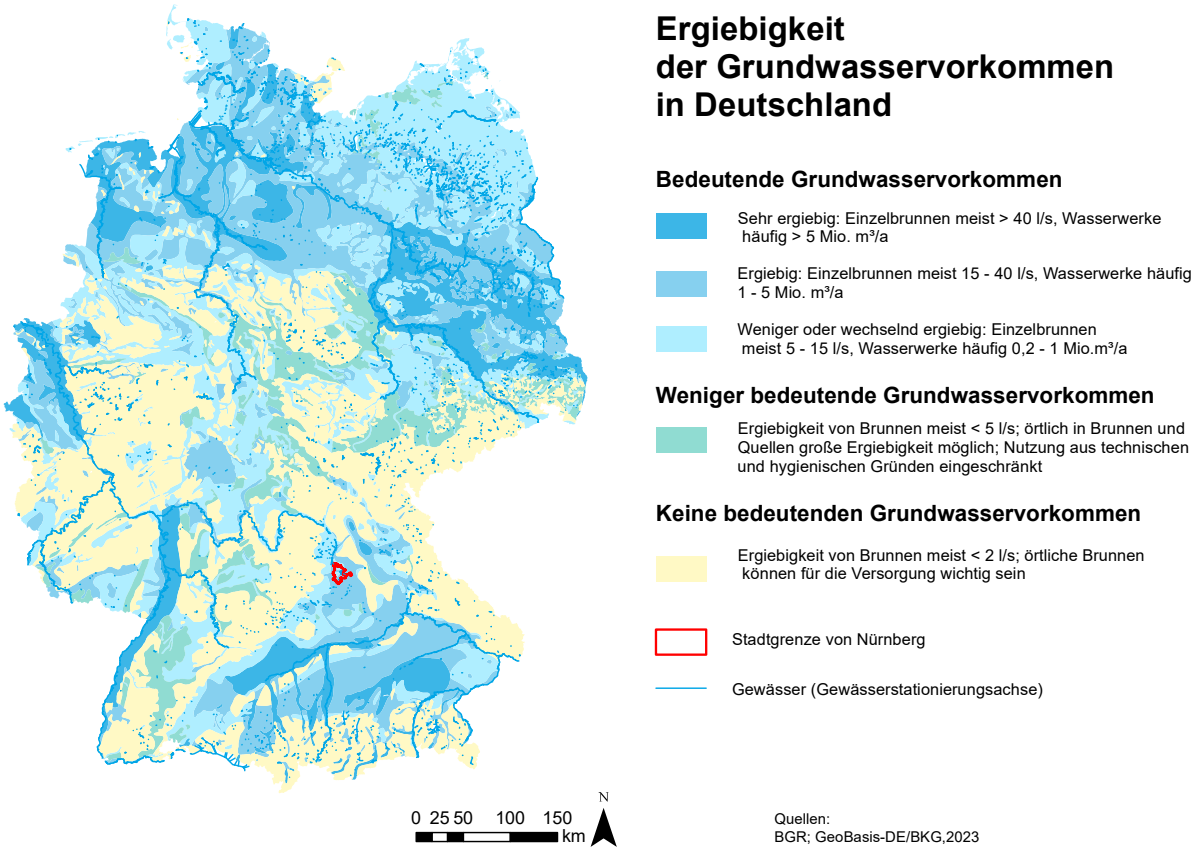
Aufgrund der geologischen Situation liegen weit überwiegend mäßige bis mittlere Ergiebigkeiten der Grundwasserleiter und -vorkommen vor (vgl. [65], Karte 30 und zusätzliche Informationen in Kapitel 1.3.2).

Bei den Oberflächengewässern sind in Nürnberg insbesondere die zwei großen Fließgewässer Rednitz und Pegnitz zu nennen. Die Wasserführung der Rednitz wird allerdings wesentlich von der Main-Donau-Überleitung gestützt (Karte 31 nächste Seiten). Nur so kann auch dieses Fließgewässer entsprechend direkt für Kühlwasser [66] und indirekt für Uferfiltrat zur landwirtschaftlichen Bewässerung im Nürnberger Stadtgebiet nachhaltig genutzt werden (vgl. 2.5.2). Zusätzlich verlaufen durch Nürnberg zwei bedeutende künstliche Gewässer: der nur noch zum Teil erhaltene alte Ludwig-Donau-Main-Kanal (vgl. Kapitel 2.6.3) und der neue, in Betrieb befindliche, Main-Donau-Kanal.

Wasserbedarf in Nürnberg

Der gesamte Wasserbedarf eines Jahres im Stadtgebiet Nürnberg im Durchschnitt der Jahre 2017-2022 beträgt rund 40 Mio m³ (vgl. Abbildung 25).

Nürnberg ist eine wachsende Großstadt. Ende 2022 waren ca. 540.000 Personen mit Hauptwohnung gemeldet [67]. Die Trinkwassermengen, die die Haushalte (und Kleinbetriebe) benötigen, stellen mit rund 60 % den weitaus größten Anteil des gesamten Wasserbedarfs in Nürnberg dar (vgl. Abbildung 25).



Karte 30: Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen in Deutschland *(Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, verändert)*

Industrie- und Gewerbebetriebe benötigen für verschiedene produktionsbedingte oder betriebliche Anlagen und z.T. für Kühlzecke rund 20 % des gesamten Wasserbedarfs in Nürnberg. Da die Wasserqualität hierfür nicht immer so hohen Ansprüchen wie jenen an das Trinkwasser genügen muss, kann das Betriebswasser teilweise aus eigenen Brunnen gefördert werden.

10 % des Gesamtwasserbedarfs werden zur Bewässerung der landwirtschaftlichen Flächen, insbesondere der Sonderkulturen im Knoblauchsland im Nürnberger Norden (Gemüseanbau), und ansonsten zur Bewässerung der gärtnerisch genutzten Flächen sowie der Sport- und Freizeitflächen benötigt. Diese Wassermengen werden vorwiegend direkt aus Grundwasser mittels Brunnen vor Ort bzw. aus Uferfiltrat aus dem Regnitztal gewonnen (Trinkwassermengen, die zur Bewässerung genutzt werden sind hier nicht berücksichtigt und werden unter „Haushalte", „Kleingewerbe" oder „Gewerbe und Industrie" nicht ausdifferenziert). Insbesondere im Knoblauchsland ist die ausreichende Wasserversorgung schon sehr lange ein grundlegendes, bedeutendes Thema (vgl. Kapitel 2.5.2 und 2.5.3).

Für die Energiegewinnung bei großen Kraftwerken (v.a. Kohle- und Atom-Kraftwerke) wird Kühlwasser benötigt, wozu i.d.R. Oberflächengewässer genutzt werden. Dieser Bedarf ist generell rückläufig [68], er wurde in der vorliegenden Auswertung nicht berücksichtigt. Zunehmend ist dagegen der Einsatz von Wasser- und Erdwärmepumpen zum Kühlen und Heizen (3,7 %). Das Wasser wird zwar, nachdem ihm Energie entzogen wurde, wieder unmittelbar in den Wasserkreislauf zurückgeführt oder im Untergrund belassen, dennoch stellt dieser Anteil des Wasserbedarfes eine Gewässerbenutzung dar, die mit Eingriffen in den Grundwasserkörper verbunden ist (vgl. Kapitel 2.5.1).

Weitere Wassermengen, ca. 3,3 % des Gesamtwasserbedarfs, sind für die Daseinsvorsorge der in der Stadt lebenden Bevölkerung, d.h. für städtische Einrichtungen, nötig: So z.B. für die sozialen Einrichtungen wie Krankenhäuser, Schulen, Kinderbetreuungseinrichtungen, Freizeit- und anderen Einrichtungen (z.B. Schwimmbäder, Sportplätze, Tiergarten). Neben der Stadtverwaltung mit seinen Ämtern und Büros wird z.B. auch für die Abwasserbehandlung Frischwasser benötigt.

Die Bewässerung von Privatgärten ist angesichts eines Anteils von ca. 2,6 % am gesamten Wasserbedarf in Nürnberg ebenfalls eine relevante Größe und findet sich teilweise in der Summe des Trinkwasserverbrauchs für Haushalte wieder, weshalb sie nur grob geschätzt werden kann (angelehnt an Angaben des BDEW [69]).

Für die Notwasserversorgung Nürnbergs, die im Katastrophenfall und bei temporären Ausfällen der Trinkwasserversorgung greift, werden in Nürnberg 117 Trinkwasser-Not-

40 Mio m³ – diese Wassermenge entspricht:

- dem 74-fachen Volumen des Wöhrder See (Unterer und Oberer Wöhrder See inkl. Norisbucht: 0,535 Mio m³).
- dem Volumen eines Beckens in der Größe der Nürnberger Altstadt und einer Höhe von 24 m (ca. Höhe der Lorenzkirche ohne Türme; 165 ha * 24 m)
- der Wassermenge von 16.000 Sportschwimmbecken (50*25m, 2m Tiefe) oder 267 Mio Badewannenfüllungen (je 150 l).

Beispiele für den Wasserverbrauch der Stadtverwaltung

Der städtische Eigenbetrieb „Stadtentwässerung und Umweltanalytik" (SUN) benötigt z.B. Frischwasser in Höhe von ca. 0,44 Mio. m³ pro Jahr, wovon mehr als 90 % aus eigenen Brunnen bedient werden kann. Die anteilig größten Einsatzbereiche für Betriebswasser sind die Abluftwäsche zur Reduzierung von Geruchsemissionen, betriebliche Reinigungsprozesse, das Ansetzen von Flockungshilfsmitteln, sowie Kühlprozesse.

Straßenbäume erfüllen eine wichtige Klimafunktion in der Stadt. Da sich die Straßenbäume häufig im stark versiegelten Umfeld befinden und daher eine nur unzureichende natürliche Versorgung über das Niederschlagswasser haben, wird Bewässerungswasser für die Straßenbäume benötigt. Dieses beläuft sich auf ca. 18 Mio Liter/Jahr (0,018 Mio m³/a). Städtische Grünflächen werden nur in extremen Trockenzeiten bewässert.

brunnen bereitgehalten. Von großer Bedeutung ist hierfür, die Grundwasserqualität und -quantität auch für diese Ausnahmefälle sicherzustellen.

Nicht zuletzt ist der Landschaftswasserhaushalt auf einen weitgehend intakten Wasserkreislauf angewiesen. Neben dem Niederschlagswasser benötigen Vegetation und Tierwelt die Oberflächengewässer und das Grundwasser in den für sie relevanten Tiefenbereichen. Neben langanhaltenden Trockenzeiten beeinflussen sinkende Grundwasserstände die natürlichen Lebensräume erheblich. Große Baumbestände, Wälder, aber auch die Bäume in den Freiflächen leiden seit den letzten Jahren zum Teil erheblich unter Wasserstress. Ähnliches gilt für grundwassernahe Standorte sowie die natürlichen und künstlichen Stillgewässer (vgl. Kapitel 2.3). Kleinere Oberflächengewässer trocknen im Sommer regelmäßig aus, aber sogar die Gründlach, ein Gewässer zweiter Ordnung, führte in der ersten Augusthälfte 2022 nach einer langen Phase der Trockenheit streckenweise im Stadtgebiet gar kein Wasser mehr [70] (Abbildung 22). Neben dem klimagerechten Waldumbau und der klimagerechten Grünplanung der Stadt ist die Minimierung von Eingriffen in den natürlichen Wasserhaushalt die wichtigste Maßnahme zugunsten des Naturhaushalts.

Wasserversorgung in Nürnberg

Bis in das 18. Jahrhundert haben die Nürnberger die im Stadtgebiet vorhandenen Quellen genutzt und sich über bis zu 137 öffentliche und weitere zahlreiche private Brunnen mit dem benötigten Wasser versorgt. Am Ende des 18.Jh. gab es bis zu 3000 Brunnen für rund 100.000 Einwohner und für die Nürnberger Betriebe (vgl. auch Grundwasserbericht 2011 Kapitel 1.2. [49]). Vor 150 Jahren lag der Pro-Kopf-Wasserbedarf bei ca. 10 bis 20 Litern pro Tag [71] [72]. Heute liegt er bei 127 Liter/Person und Tag (vgl. Kapitel 2.5).

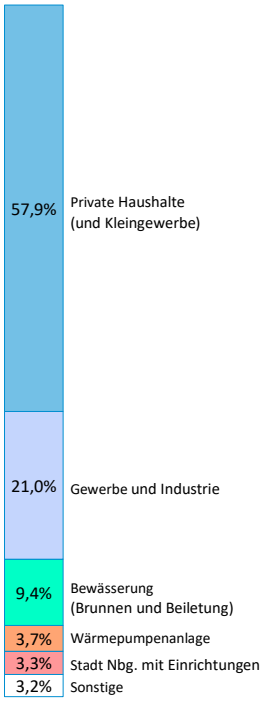
Ende des 18. Jahrhunderts wurde aufgrund der schlechten Wasserqualität in der Stadt (v.a. Keime), des steigenden Wasserbedarfs durch Industrialisierung und des rasanten Bevölkerungszuwachses, damit begonnen, Wasser von Außerhalb nach Nürnberg zu leiten.

Wassergewinnung im Stadtgebiet Nürnberg

Heute werden 12 % des Nürnberger Trinkwasserbedarfs im Stadtgebiet selbst über Brunnen im Wasserschutzgebiet Erlenstegen/Eichelberg gewonnen, d.h. ca. 3,9 Mio m³/Jahr von insgesamt 32,2 Mio m³/Jahr.

Gesamtwasserbedarf im Stadtgebiet Nürnberg - Anteile der Wassernutzer - 2017-2022

Wassernutzer	öffentliche Trinkwasser-verorgung [Mio m³]	Wasser-beileitung Regnitztal [Mio m³]	private und gewerbliche Entnahme-mengen aus Brunnen im Stadtgebiet [Mio m³]	Summe Wasser-bedarf [Mio m³]
Private Haushalte (und Kleingewerbe)	23,10		0,2 [1)]	23,30
Darunter private Gartenbewässerung	0,85		0,20	1,05 [2)]
Gewerbe und Industrie	7,10		1,36	8,46
Bewässerung (Beregnungsbrunnen+Wasserbeileitung) v.a. Landwirtschaft, Gärtnereien, Sportplätze (hier ohne private Gartenbrunnen)		2,7	1,10	3,80
Wärmepumpenanlagen			1,47	1,47
Stadtentwässerung und Umweltanalytik	0,04		0,40	0,44
Städtische Bäder	0,11		0,01	0,12
Tiergarten	0,03		0,17	0,20
SÖR	0,07		0,03	0,10
Darunter Straßenbäume (ca. 10.000 Bäume)				0,02
Übrige Stadtverwaltung inkl. Soziale Einrichtungen und Kliniken	0,47		--	0,47
Sonstige	1,28		---	1,28
Summe	**32,20**	**2,7**	**4,74**	**39,64**



1) Gartenbrunnen geschätzt
2) angenommen 4,5 % des Trinkwasserbedarfs der Haushalte (in Anlehnung an BDEW)

Abbildung 25: Überblick über die Wasserbedarfe in Nürnberg (ohne Kühlwasser für Kraftwerke aus Oberflächengewässern), Zusammenstellung benötigter Wassermengen nach Nutzungsarten im Durchschnitt der letzten vier bis sechs Jahre - Stand Ende 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg)*

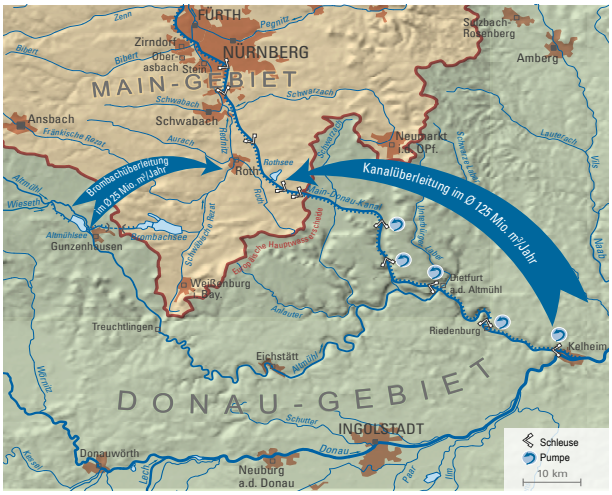
Weitere Wassermengen für betriebliche Zwecke sowie zur Wärme-/Energiegewinnung (Kühl- und Heizzwecke) werden mit einem Volumen von ca. 3,2 Mio m³/Jahr aus Betriebsbrunnen im Stadtgebiet Nürnberg geschöpft. Für die Bewässerung von Sportanlagen, Grünflächen, für die Wasserversorgung des Tiergartens und für Gartenbaubetriebe sowie landwirtschaftliche Flächen wird ebenfalls aus Einzelbrunnen im Stadtgebiet Grundwasser gefördert. Diese belaufen sich auf insgesamt ca. 1,5 Mio m³/Jahr (vgl. Kapitel 2.3.4).

Wasserzuleitungen nach Nürnberg

Zwei der Wassergewinnungsanlagen für die Trinkwasserversorgung befinden sich relativ stadtnah östlich von Brunn (vgl. Kapitel 2.4), die Zuleitungen nach Nürnberg sind relativ kurz.

Rund 80 % des Trinkwasserbedarfs für Nürnberg, d.h. rund 26 Mio m³/Jahr Trinkwasser werden aus 45 km bzw. 100 km entfernten Quellen und Grundwasservorkommen nach Nürnberg geleitet. Diese Zuleitung aus den weit entfernten Gebieten sichern die Nürnberger Trinkwasserversorgung (vgl. Kapitel 2.5).

Eine große Wasserüberleitung in das gesamte Regnitz-Main-Gebiet findet seit Beginn der 90er Jahre mit dem Überleitungssystem Donau-Main statt (vgl. Karte 31). Im Mittel der Jahre 1999 bis 2022 werden hierüber pro Jahr 153 Mio m³ Wasser aus dem regenreichen Donaugebiet in das regenarme Maingebiet übergeleitet [73]. Einen Anteil davon nutzt in Form von Uferfiltrat das Wasserbeileitungsprojekt aus dem Regnitztal mit einer Wassermenge von rund 2,7 Mio m³ (im Durchschnitt der Jahre 2017-2022) zur Bewässerung des Gemüseanbaugebietes Knoblauchsland, Tendenz steigend (vgl. Kapitel 2.6.2).



Karte 31: Schema der Überleitung Donau-Main *(Quelle: WWA Ansbach)*

Fazit

Nürnberg kann also seinen Wasserbedarf zu einem Anteil von ca. 22 % selbst decken (vgl. Tabelle 9) und ist ansonsten, wie andere Großstädte auch, im hohem Maß auf eine Wasserversorgung von außerhalb der Stadtgrenzen angewiesen.

Wassergewinnung [Mio m³/a]	Wassergewinnung im Stadtgebiet	Wassergewinnung unweit des Stadtgebietes	Wasserzuleitung von weiter her	**Summe** [Mio m³/a]
Trinkwasser	3,9	2,5	25,8	32,2
Wasserbeileitung zur Bewässerung des Knoblauchslandes, welches von der Donau-Main-Überleitung profitiert (Uferfiltrat; vgl. Karte 31)			2,7	2,7
Brunnenwasser (v.a. Betriebs- und Beregnungsbrunnen)	4,7			4,7
Summe	8,6	2,5	28,5	**39,6**
Prozent	***22 %***	*6%*	*72%*	*100%*

Tabelle 9: Gesamtüberblick über die Wasserversorgung im Stadtgebiet Nürnberg im Durchschnitt der Jahre 2017 – 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

2.2.3 Herausforderungen für die Wasserwirtschaft, die Wassernutzer und die Stadtverwaltung

Wasser kennen wir bislang eigentlich nur im Überfluss, denn es ist aus dem Trinkwasserhahn ständig verfügbar. Dies ist einerseits positiv und unterstützt den aktuellen Lebensstandard. Seitens der Nürnberger Wasserversorgung, der N-ERGIE Aktiengesellschaft, wird stets die Bereitstellung mit ausreichenden Mengen an Trinkwasser auch auf lange Sicht sichergestellt (Kapitel 2.5).

Nichts desto trotz gibt es für die Zukunft große Herausforderungen, welche im Zusammenhang mit dem Klimawandel, der Verunreinigung von Gewässern und der Siedlungsentwicklung (inkl. Infrastrukturen) stehen. Es sind die Herausforderungen, die auch letztlich hinter den dargestellten Zukunfts-Strategien des Bundes und des Freistaates stehen. Dass Wasserknappheit nicht ein weiter entferntes Zukunftsthema ist, sondern bei Städten und Gemeinden real als aktuelles Problem angekommen ist, zeigt auch die Forderung der Kommunalen Spitzenverbände in Deutschland, dass mit Blick auf zunehmende Hitze- und Dürreperioden Leitlinien zur Priorisierung bei der Verteilung von Wasser für den Fall von Knappheit in Deutschland entwickelt werden sollen [74].

Die wichtigsten herausfordernden Aspekte

Die Klimawandelprognosen unterscheiden sich je nach zugrundgelegtem Szenario (vgl. Kapitel 2). Unabhängig davon werden aus Vorsorgegründen bei Planungen die erwarteten Klimaveränderungen berücksichtigt. Die technischen Regeln werden angepasst. So wird z.B. bei der Planung von Abwasserinfrastrukturen ein entsprechend angepasster Bemessungsmaßstab angewandt.

In einigen Regionen Bayerns sind die Grundwasserstände bereits um mehrere Meter abgesunken (Diagramm 25). Deutschlandweite Auswertungen weisen einen Rückgang des Wasserdargebotes nach. So hat das Umweltbundesamt eine Reduktion des „langjährigen potenziellen Wasserdargebotes" im Vergleich der Zeitreihen 1961-1990 und 1991-2020 um 6,4 % festgestellt [68] [75]. Ein Team des Deutschen GeoForschungsZentrums (GFZ) hat, gemeinsam mit Forschenden der Universität Bonn und des Forschungszentrums Jülich, im Hinblick auf die Wasserverluste die Jahre von 2002 bis 2022 v.a. mit Daten der Satellitenmissionen GRACE (2002 bis Missionsende 2017) und GRACE-Follow On (seit 2018 aktiv) genauer untersucht und damit erste Auswertungen des US-Amerikaners James Famigletti verifiziert. Ihr Fazit: Im Durchschnitt hat Deutschland jedes Jahr 760 Millionen (760 Mio m³/a; -2,1 mm Wasseräquivalent/Jahr) Wasser verloren – sei es durch abnehmende Bodenfeuchte, schwindendes Grundwasser, abgeschmolzene Gletscher oder gesunkene Wasserspiegel. Der gesamte Wasserspeicher hat demnach in den zwei Jahrzehnten um zusammengerechnet 15,2 Kubikkilometer abgenommen. Um verlässlich einen Trend abschätzen zu können, sei der Zeitraum jedoch zu kurz und zu stark von verschiedenen Extremen geprägt [76]. Auch ist eine flächenscharfe Auswertung für Nürnberg wegen der geringen räumlichen Auflösung der Satellitenbil-

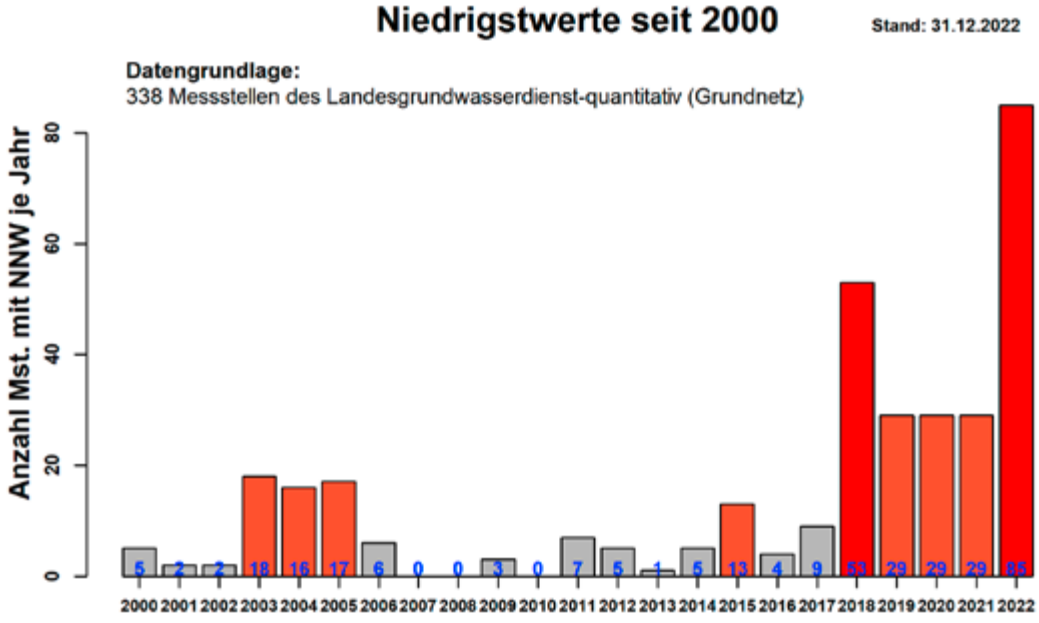


Diagramm 25: Niedrigstwerte an Grundwassermessstellen des Bayerischen Landesgrundwassermessnetzes (Grundnetz-Quantität) seit 2000 *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt)*

der nicht möglich. Nürnberg ist von entsprechend starken Absenkungen des Grundwasserspiegels – mit Ausnahmen (Tiefer Brunnen der Kaiserburg) – nicht betroffen, da es sich in einer Senke und im Talraum des Pegnitz-Rednitz-Regnitz-Talsystems befindet (vgl. Kapitel 1.3.2). Dennoch sind auch in Nürnberg bereits Grundwasserabsenkungen im Beobachtungszeitraum der letzten 10 Jahre um durchschnittlich 0,2 bis 0,3 m und mehr festzustellen (vgl. Kapitel 1.3.2). Dies deutet darauf hin, dass der Nürnberger Raum von längerfristigen Wasserverlusten in ähnlichem Größenmaßstab wie in Deutschland betroffen ist.

Für die Trinkwasserüberleitung aus dem Donauraum (Genderkingen) des Zweckverbandes „Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum" (WFW), welcher in Nürnberg rund 1/3 des Trinkwasserbedarfs deckt (vgl. Kapitel 2.5), muss, wegen Auslaufen des Bisherigen, aktuell ein neues Wasserrecht, d.h. die Genehmigung zur Wasserentnahme, beantragt werden [77]. Es handelt sich hierbei um relativ langfristige Wasserversorgungsplanungen, weshalb sowohl bei der Einschätzung der Wasserbedarfe als auch des Wasserdargebotes die Entwicklungen im Zusammenhang mit den prognostizierten Klimaveränderungen berücksichtigt werden müssen. Die Sicherstellung einer nachhaltigen Wasserversorgung wird auch in Zukunft eine große Aufgabe der Kommunen und Länder sein (vgl. Wasserzukunft Bayern in Kapitel 2.2.1).

Auch bei der Vergabe von Wasserrechten in Nürnberg, d.h. bei der Genehmigung von Entnahmekontingenten zur Nutzung von Grundwasser aus dem Nürnberger Untergrund, sei es für gewerblich-industrielle Zwecke oder für die landwirtschaftliche und gartenbauliche Bewässerung, ist es Aufgabe der zuständigen Behörden gleichzeitig die Bedarfe und die zukünftigen, auch klimatischen Entwicklungen zu berücksichtigen, abzuwägen und nachhaltige Entscheidungen zu treffen (vgl. Kapitel 2.6.1).

Das Donau-Main-Überleitungssystem (vgl. Karte 31), das die Abflüsse in Regnitz und Main stabilisiert, muss bei länger anhaltenden Trockenphasen, erstmals im Sommer 2015, auf einen speziell dafür ausgelegten Sonderbetrieb umstellen. Der Sonderbetrieb tritt ein, wenn ein bestimmter Abfluss am Pegel Kelheimwinzer an der Donau unterschritten wird und somit kein Donauwasser mehr für die Überleitung abgepumpt werden darf. Der Aufhöhungsbetrieb kann dann, abhängig vom Füllstand der vorhandenen Speicher Rothsee und Brombachsee, mit reduzierten Überleitungsmengen weiterbetrieben werden und orientiert sich in diesen Zeitspannen mehr an den natürlichen Abflussverhältnissen. Dieser Betrieb wurde in den letzten Jahren 2018 bis 2022 immer wieder in unterschiedlichen Zeiträumen genutzt und hat sich bewährt. Das Überleitungssystem sieht sich mit dieser Maßnahme für die Zukunft gut gerüstet.

Die Wasserbeileitung für das Knoblauchsland fußt auf der oben genannten Überleitung. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund eines steigenden Wasserbedarfes bei zunehmenden Trockenphasen werden verstärkt Maßnahmen zur Steigerung der Effektivität bei der Bewässerung entwickelt (vgl. Kapitel 2.6.2 und 2.6.3).

Neben der Quantität spielt auch die Grundwasserqualität eine erhebliche Rolle bei der Wasserversorgung. Wenn das Grundwasser nicht die geeignete Qualität aufweist können erhebliche Aufwendungen zur Sanierung und Aufbereitung erforderlich werden. Diese und die Verknappung von nutzbaren Grundwasserressourcen durch Verschmutzung gilt es zu vermeiden. In 2020 mussten zwei Notwasserbrunnen wegen Schadstoffbelastungen (je einmal zu hohe Konzentrationen an Pflanzenschutzmitteln und LHKW) aufgegeben werden.

Weitere Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel, der vermehrt Extremwetterereignisse erwarten lässt, stellen der Hochwasserschutz und die Starkregengefahren für die Stadt dar (vgl. Kapitel 2.8). Die Maßnahmen, die hierzu im Zuge der Stadtentwicklung und Grünflächengestaltung (vgl. auch Kapitel 2.7) ebenso wie bei den Infrastrukturen (z.B. entwässerungstechnische Anlagen, Straßengestaltung), geplant und umgesetzt werden müssen, bedürfen im Vorfeld einer umfänglichen Abstimmung unter den verschiedenen Fachgebieten und Akteuren.

Mit Blick auf den Naturhaushalt ergeben sich vor allem aufgrund der prognostizierten häufigeren und längeren Trockenzeiten Herausforderungen für die Biotop- und Landschaftspflege (vgl. Kapitel 2.4), für die Auswahl an Straßenbäumen, die an das künftige Klima angepasst sind, sowie für die Grünflächengestaltung und den Waldumbau.

Ein sparsamer und effizienter sowie nachhaltiger und intelligenter Umgang mit der Ressource Wasser ist angesichts der beschriebenen Herausforderungen geboten. Dies gilt für die betrieblichen und landwirtschaftlichen Wassernutzer (vgl. Kapitel 2.6.), die städtebauliche Planung, die Stadtverwaltung insgesamt (vgl. Kapitel 2.7 und 2.8), wie für jeden einzelnen Bürger und Grundstücksbesitzer. Im Anhang I werden dazu weiterführende Hinweise gegeben.

2.3 Daten zum Nürnberger Wasserhaushalt

2.3.1 Klimatische Entwicklung

Das Umweltamt der Stadt Nürnberg wertet die meteorologischen Daten seit einigen Jahren systematisch aus. Die klimatologische Auswertung bezieht sich v.a. auf die Station Nürnberg-Flughafen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die über sehr lange Messreihen verfügt (monatliche Temperaturdaten seit 1933, tägliche Temperaturdaten seit 1955, tägliche Niederschlagsdaten seit 1956, stündliche Niederschlagsdaten seit 1995) und auch hinsichtlich der Datenqualität die beste Station in Nürnberg darstellt. Im Jahr 2020 endete eine neue 30-jährige Messreihe, so dass nun die Klimareferenzperioden 1961-1990 und 1991-2020 miteinander verglichen werden können und somit eine verbesserte Vergleichbarkeit der klimatischen Veränderungen der letzten 60 Jahre möglich ist.

Temperaturentwicklung

Wie auch im Großraum Mittelfranken zu beobachten, ist das vergangene Jahrzehnt bislang als das wärmste Jahrzehnt und das Jahr 2018 als das heißeste Jahr in die über 80-jährige Nürnberger Statistik eingegangen. Lag die Jahresmitteltemperatur im Zeitraum 1961-1990 noch bei durchschnittlich 8,8 °C, stieg sie im Zeitraum 1991-2020 auf 9,8 °C an (Diagramm 26). Der Zuwachs der Jahresmitteltemperatur zwischen den beiden 30-jährigen Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2020 an der Station Nürnberg-Flughafen beträgt somit 1,0 °C. Besonders starke Zuwächse sind im Januar und April (+1,5 °C) zu verzeichnen. Die Erwärmung vollzieht sich jedoch generell in allen Monaten. Der lineare Trend zeigt im Zeitraum 1934-2022 derzeit eine Temperaturzunahme von 1,7 °C. Bayernweit wird seit Beginn flächendeckender Wettermessungen in 1881 eine Zunahme von 1,8 °C gemessen [78].

Ebenso ist an der Messstation Nürnberg-Flughafen auch ein deutlicher Anstieg der Sommertage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 25 °C) und heißen Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C), die als Indikatoren für die Hitzebelastung dienen, zu verzeichnen. Der Vergleich der beiden Klimareferenzperioden zeigt einen mittleren Anstieg von etwa 12 Sommertagen und 6 heißen Tagen. Somit werden pro Jahr in ca. 8 Wochen Temperaturen ≥ 25 °C, in 2 Wochen ≥ 30 °C erreicht. Die seit 2014 bestehende Messstation am Jakobsplatz in der Altstadt verzeichnet jeweils etwa 10 Sommertage bzw. heiße Tage mehr als am Flughafen. Das bedeutet, dass die klimatische Situation die Innenstadt verstärkt belastet und insbesondere die innerstädtische Bevölkerung in den z.T. stark verdichteten Siedlungsräumen Nürnbergs etwa an zusätzlich 10 Tagen im Jahr Temperaturen von ≥ 25 °C sowie über ≥ 30 °C ausgesetzt war.

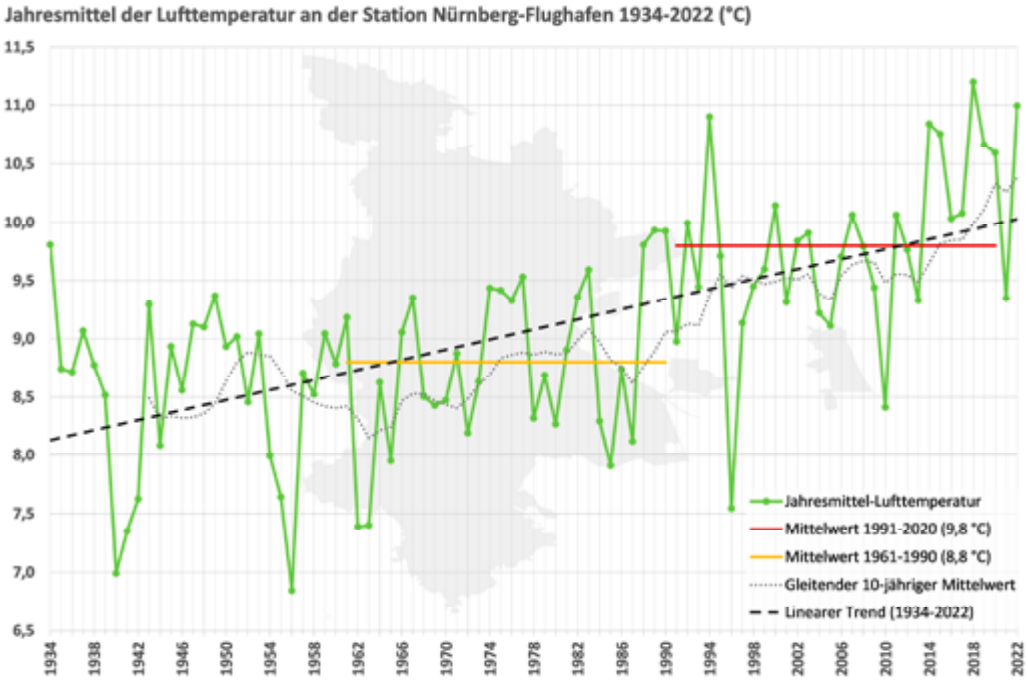


Diagramm 26: Temperaturentwicklung an der Station Nürnberg Flughafen seit 1934 *(Stationsdaten: DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Dem gegenüber steht in den Wintermonaten eine Abnahme um 7 Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur < 0 °C) und 10 Frosttage (Tagesminimum der Lufttemperatur < 0 °C), so dass sich hier der Trend zu milderen Wintern bemerkbar macht. Es ist davon auszugehen, dass sich der Trend auch langfristig fortsetzen wird.

Top 10: Höchste Jahresmitteltemperatur an der Station Nürnberg-Flughafen [°C]									
Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5	Rang 6	Rang 7	Rang 8	Rang 9	Rang 10
2018	2022	1994	2014	2015	2019	2020	2000	2017	2007
11,2	**10,9**	**10,9**	**10,8**	**10,7**	**10,6**	**10,6**	**10,1**	**10,0**	**10,6**

Tabelle 10: Die zehn wärmsten Jahre an der Messstation Nürnberg-Flughafen *(Stationsdaten: DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Klimatologischer Parameter	Mittel 1961-1990	Mittel 1991-2020
Jahresmitteltemperatur [°C]	8,8	9,8
Anzahl Sommertage (T_{max} ≥ 25 °C)	40,6	52,9
Anzahl heiße Tage (T_{max} ≥ 30 °C)	7,8	13,8
Anzahl Wüstentage (T_{max} ≥ 35 °C)	0,1	1,2
Anzahl Frosttage (T_{min} < 0 °C)	100,3	90,3
Anzahl Eistage (T_{max}< 0 °C)	23,2	16,7
Jahresniederschlagssumme [mm]	644,1	600,4

Tabelle 11: Vergleich der klimatologischen Parameter für die Klimareferenzperioden 1961-1990 und 1991-2020 *(Stationsdaten Messstelle Flughafen: DWD; Auswertung: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Niederschlagsentwicklung

Bei der Niederschlagsentwicklung lässt sich an der Station Nürnberg-Flughafen bislang ein leicht abnehmender Trend hin zu trockeneren Jahren feststellen. Der Vergleich der beiden Referenzperioden zeigt eine Abnahme der Jahresniederschlagssumme von 644 auf 600 mm (Diagramm 27). Auch in einer differenzierten Betrachtung der hydrologischen Jahreszeiten zeichnet sich dieser Trend ab. Dabei stellen die Monate Mai bis Oktober den hydrologischen Sommer und die Monate November bis April den hydrologischen Winter dar. Im hydrologischen Sommer zeigt sich eine leichte Abnahme des Niederschlags um etwa 10 mm von 369,3 mm (1961-1990) auf 359,8 mm (1991-2020) im Vergleich der langjährigen Mittel. Im hydrologischen Winter ist die Abnahme im Vergleich der langjährigen Mittel etwas größer: um etwa 34 mm reduzierte sich die Niederschlagssumme von 274,8 mm (1961-1990) auf 240,6 mm (1991-2020) (Diagramm 28).

Die langjährigen Trendanalysen der beiden weiteren Nürnberger DWD-Messstationen in Netzstall und Krottenbach zeigen keine einheitlichen Veränderungen der Jahresniederschlagssummen. Auch hinsichtlich der einzelnen Monate und Jahreszeiten lassen sich bislang keine eindeutigen Trends feststellen. Die von den Klimamodellen prognostizierten trockeneren Sommer und feuchteren Winter sind in den Messdaten bislang nur ansatzweise bzw. (noch) nicht zu erkennen.

Die prognostizierte Zunahme von Starkregenereignissen spielt in Nürnberg vermehrt eine Rolle. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt im Kapitel 2.8.1.

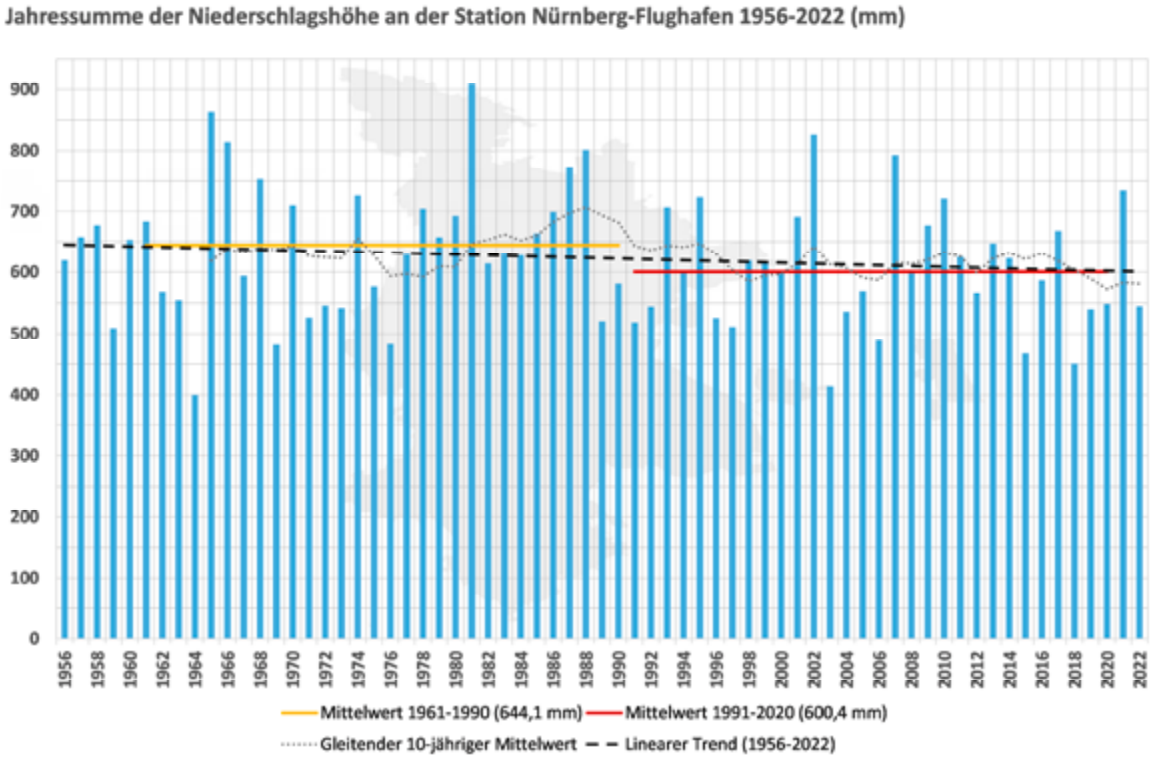
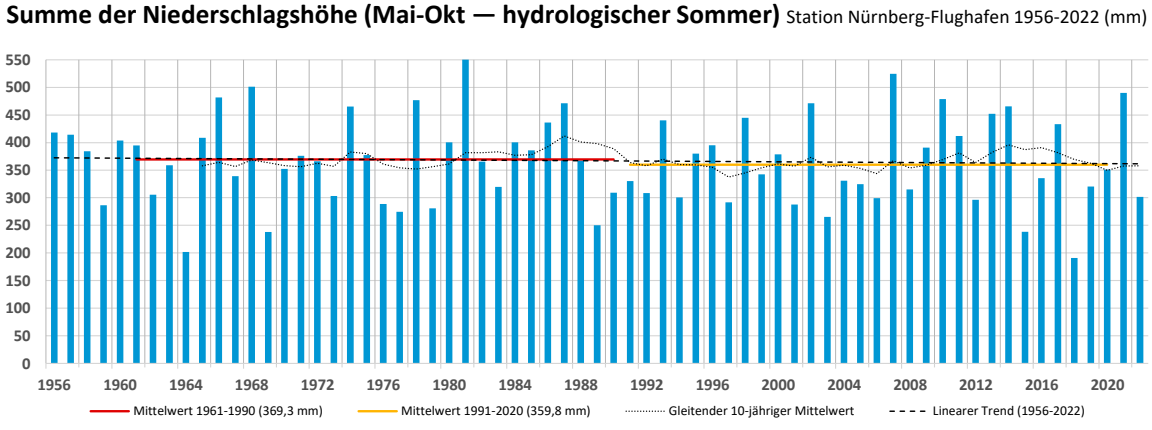


Diagramm 27: Jahresniederschlagssumme an der Station Nürnberg-Flughafen seit 1956 *(Stationsdaten: DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



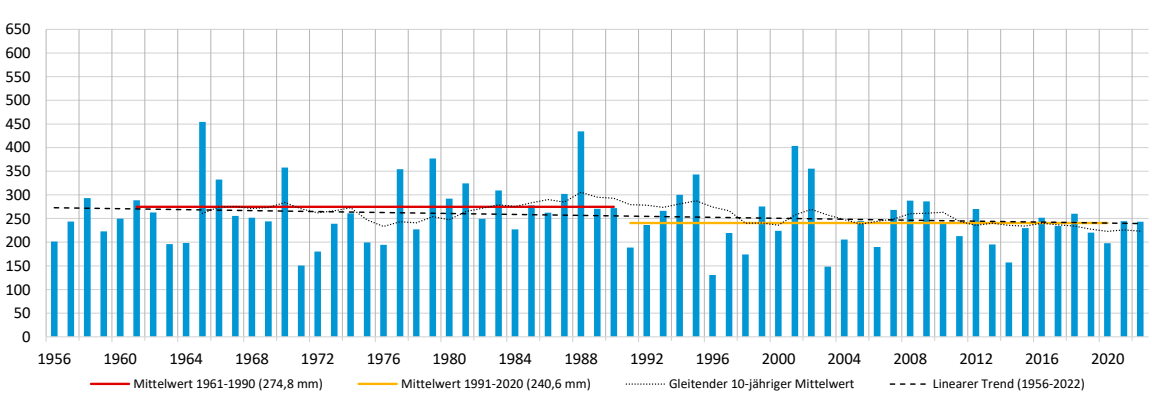


Diagramm 28: Auswertung der Niederschlagssumme der hydrologischen Jahreszeiten an der Station Nürnberg-Flughafen *(Stationsdaten: DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

2.3.2 Bedeutung der Versiegelung für den Wasserhaushalt

Mit der weiteren Siedlungsentwicklung einer Stadt, insbesondere mit der Zunahme an Bau- und Verkehrsflächen, geht eine Zunahme versiegelter Flächen einher. Je nach Flächennutzung liegt der Versiegelungsgrad der Siedlungs- und Verkehrsflächen i.d.R. zwischen 30 und 100 %. Nürnberg ist eine sehr dicht bebaute und versiegelte Stadt. Zum Stand 2021 nehmen Siedlungs- und Verkehrsflächen 61,7 % des Stadtgebietes ein (vgl. Diagramm 29). 2011 lag der Anteil am Nürnberger Stadtgebiet bei 60,5 % (Statistisches Jahrbuch 2016 [79]).

Bodenversiegelung und Überbauung von Boden führt zu einem irreversiblen Verlust seiner natürlichen Funktionen [81]. Im Hinblick auf den Wasserhaushalt sind dies die wesentlichen Funktionen der Grundwasserneubildung durch Versickerung/Bodenpassage von Niederschlagswasser und die Speicherfunktion von Wasser in Abhängigkeit der Bodenart und -ausprägung. Diese Funktionen haben außerdem unmittelbar Auswirkungen auf die Retentionsleistung bei Regen- und Hochwasserereignissen und auf die Verdunstungsleistung.

Deshalb führt eine Versiegelung von Flächen neben der erheblichen Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, der Aufheizung von Städten und verstärkter Staubentwicklung in Bezug auf den Wasserhaushalt zu:

- einer Verringerung der lokalen Grundwasserressourcen.
- einer Verringerung der Luftfeuchte und lokalen Verdunstungskühlung und damit zu einer Veränderung des Kleinklimas.
- einem Verlust der Bodenwasserspeicher und damit zu einem Verlust von guten Voraussetzungen für die städtische Vegetation (z.B. mit Folge eines Bewässerungsbedarfs von Straßenbäumen).
- durch Reduzierung der Versickerung und Grundwasserneubildung sowie Reduzierung des Grundwasserspeichers/-vorrats wird der unterirdische Grundwasserabfluss in Richtung Vorflut, d.h. in Richtung Oberflächengewässer minimiert. Es kann zu häufigeren Niedrigwasserereignissen bzw. zum verstärkten Austrocknen kleinerer Gräben und Gewässer kommen.
- höheren, schnelleren Oberflächenabflüssen bei Regenereignissen. Damit steigt das Risiko von Überschwemmungen und Überflutungen.

Durch Versiegelung werden so die Auswirkungen des Klimawandels in einem relevanten Maß verstärkt, mit den Folgen eines häufigeren Zuwenig bzw. Zuviel an Wasser.

Karte 32 gibt einen groben Überblick über das Maß der Beeinflussung des Wasserhaushaltes durch die Art der Flächennutzung.

Fazit

In ganz Deutschland und ebenso in Nürnberg ist der Bedarf derzeit groß, v.a. mehr Wohnungen zu bauen. Sonderprogramme werden daher aufgelegt. Häufig sind damit Flächen-Neuinanspruchnahmen verbunden, in Nürnberg sind dies z.B. die Neubaugebiete Bebauungsplan 4641 „Wetzendorf“ und 4445 „Tiefes Feld“ (vgl. Kapitel 2.7.2.1).

Neben der wichtigsten Maßnahme, der Vermeidung von Flächenversiegelungen, verbunden mit dem Flächenrecycling und dem kompakten Bauen, kommen den Maßnahmen zur Bewältigung der Folgen von Versiegelung eine große Bedeutung zu: z.B. Maßnahmen zum Schutz vor Starkregenereignissen, wassersensible Stadtentwicklung nach dem „Schwammstadt-Prinzip“, Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung (vgl. Kapitel 2.7 und 2.8).

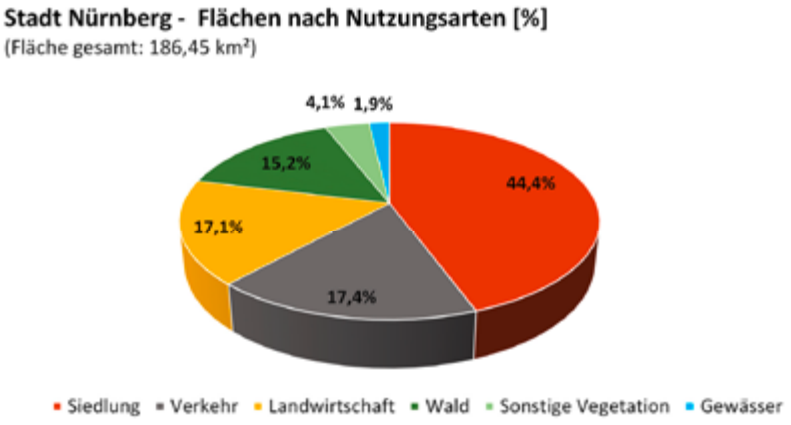
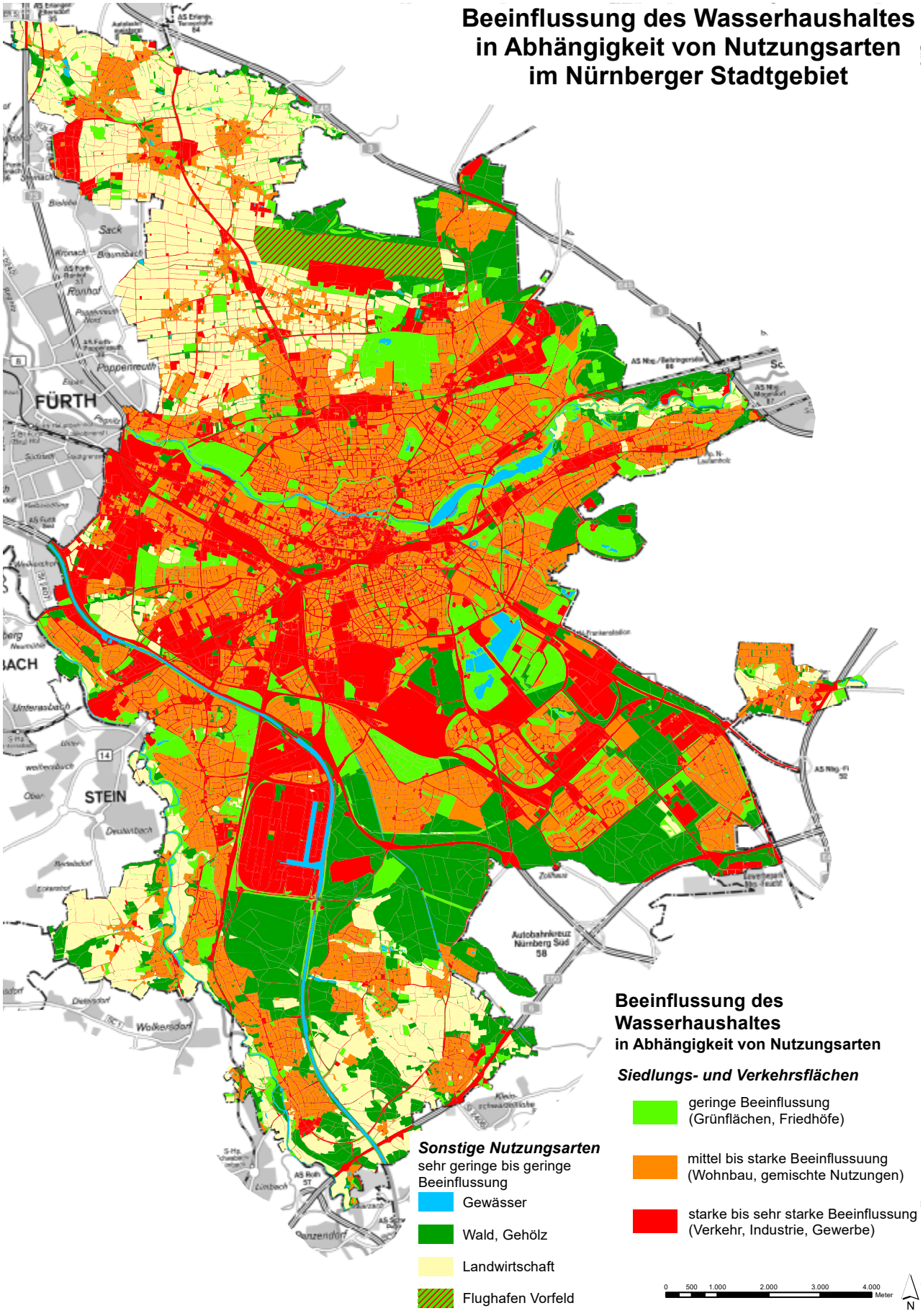


Diagramm 29: Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung der Stadt Nürnberg - Stand 2021
(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt, Quelle der Daten: Statistisches Jahrbuch der Stadt Nürnberg 2022 [80])



Karte 32: Das Stadtgebiet von Nürnberg: grobe Einteilung der Beeinflussung des Wasserhaushalt in Abhängigkeit von Nutzungsarten - gemäß ALKIS-Daten, Allgemeines Liegenschaftskataster, Stand 2023 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

2.3.3 Grundwasserneubildung und Grundwasserstände in der Region Nürnberg – Entwicklungen in der Vergangenheit und Ausblick in die Zukunft

(Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 92 – Dr. Benjamin Kopp, Dr. Jörg Neumann)

Einleitung

Die Trinkwasserversorgung in Bayern stützt sich mit jährlich rund 800 Millionen Kubikmeter auf die Nutzung von Grundwasser. Dies entspricht einem Anteil von rund 89 % an der gesamten gewonnenen Trinkwassermenge. Mehrheitlich wird das Trinkwasser dabei aus Brunnen gewonnen (68,3 %), gefolgt von der Quellwassernutzung (20,7 %). Die übrigen Anteile des Trinkwassers stammen aus der Gewinnung von Uferfiltrat (7,8 %), aus Oberflächengewässern (2,9 %) (v.a. Trinkwassertalsperren) und angereichertem Grundwasser (0,4 %) [82].

Da das Grundwasser außerdem durch Industrie, Gewerbe und die Landwirtschaft genutzt wird, kommt der langfristigen Entwicklung unserer Grundwasservorkommen eine herausgehobene Bedeutung zu. Dabei stellt die Grundwasserneubildung aus Niederschlag ein wichtiges Maß für die natürliche Regeneration der Grundwasserressourcen dar. Es handelt sich hierbei per Definition um den „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“ (DIN 4049-3). Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist dabei keine statische Größe, sondern variiert von Jahr zu Jahr in Abhängigkeit vom jeweiligen Niederschlagsgeschehen (positive Bilanzgröße), temperaturbedingten Änderungen der Verdunstung sowie der Abflussdynamik (negative Bilanzgrößen). Auf Grund der beschriebenen Zusammenhänge erfolgt der Großteil der jährlichen Grundwasserneubildung während des hydrologischen Winterhalbjahres (November bis April), wenn auf Grund niedriger Temperaturen und der Winterruhe der Vegetation die Verdunstungsverluste gering sind. Im Mittel werden in Bayern rd. 200 mm/a bzw. 200 l/m2 Grundwasserneubildung verzeichnet, dies entspricht rd. 20 % der jährlichen Niederschlagshöhe [83]. Innerhalb von Bayern sind naturräumlich-klimatisch bedingt große regionale Unterschiede bei der Grundwasserneubildung zu beobachten.

Im nachfolgenden Text wird die Entwicklung der Grundwasserneubildung sowie der gemessenen Grundwasserstände für die Region Nürnberg beschrieben und diskutiert.

Methodik

Modellierung der Grundwasserneubildung

Da sich die Grundwasserneubildung aus Niederschlag messtechnisch nur punktuell und unter erheblichem Aufwand ermittelt lässt, erfolgt für Bayern eine flächendeckende Modellierung auf Basis des Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW. GWN-BW ist ein modular aufgebautes, deterministisches und flächendifferenziertes Modell zur Berechnung der tatsächlichen Verdunstung, zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und der unterhalb der durchwurzelten Bodenzone gebildeten Sickerwassermenge [84]. Die so modellierte Grundwasserneubildung aus Niederschlag bildet somit das Neubildungsgeschehen für den oberflächennächsten Grundwasserleiter ab, während Aussagen zu Neubildungsraten tieferer Grundwasserstockwerke methodisch bedingt nicht möglich sind. Des Weiteren kann die Grundwasserneubildung aus Niederschlag nicht direkt mit dem nutzbaren Grundwasserdargebot gleichgesetzt werden. Hierfür sind gegebenenfalls weitere Einflussfaktoren zu berücksichtigen [85].

Auf Grund der Datenlage ist die Modellierung mit GWN-BW in stark versiegelten Stadt- bzw. Siedlungsgebieten kleinräumig mit hohen Unsicherheiten behaftet, weshalb im Rahmen dieses Beitrags keine belastbaren Grundwasserneubildungsdaten für das reine Stadtgebiet Nürnberg ausgegeben werden können. Ursächlich hierfür sind unter anderem die durch anthropogene (Bau) Tätigkeiten stark überprägten Böden sowie fehlende detaillierte Informationen, beispielsweise zur Kanalisation sowie zu Anlagen zur Regenwasserversickerung bzw. -speicherung. Im Folgenden wird daher eine Betrachtung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag im regionalen Maßstab auf Grundlage eines Kartenausschnitts mit 50 km Kantenlänge und der Stadt Nürnberg im Zentrum vorgenommen (Karte 33).

Messung der Grundwasserstände

Die messtechnische Erfassung der Grundwasserstände in Bayern erfolgt landesweit auf Basis von staatlichen Grundwassermessstellen und Quellen durch den Landesgrundwasserdienst. Damit wird das Ziel verfolgt, weitgehend lückenlose Zeitreihen repräsentativer und fehlerfreier Messdaten zu gewinnen. Die so erhobenen Daten dienen der Beschreibung von (langfristigen) Entwicklungen, als Grundlage für planerische oder gewässerkundliche Fragestellungen und finden Verwendung bei Berichtspflichten wie z.B. der EG-Wasserrahmenrichtlinie.

Die Messdaten aller staatlichen Grundwassermessstellen werden über den Gewässerkundlichen Dienst Bayern (GKD [21]) veröffentlicht, getrennt nach oberflächennahen sowie tieferen Grundwasserstockwerken. Im Niedrigwasserinformationsdienst (NID [86]) erfolgt für ausgewählte Messstellen eine Klassifizierung der aktuellen Grundwasserverhältnisse in die Kategorien „kein Niedrigwasser“, „niedrig“,

„sehr niedrig", „neuer Niedrigstwert" bezogen auf die jeweilige mehrjährige Statistik. Die entsprechenden Einstufungen sind damit von besonderem Interesse während Niedrigwasserphasen und Trockenperioden. Analog erfolgt im Hochwassernachrichtendienst (HND [87]) für ausgewählte Messstellen in oberflächennahen Grundwasserstockwerken eine Beurteilung der aktuellen Grundwasserverhältnisse bezogen auf hohe Grundwasserstände.

Hydrogeologie der Region Nürnberg

Bevor im Folgenden Aussagen zur langfristigen Entwicklung der Grundwasservorkommen in der Region Nürnberg getroffen werden, ist es notwendig die hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrunds zu betrachten. Die Region Nürnberg ist Teil des nordbayerischen Schichtstufenlandes, welches geologisch durch den vielfachen horizontalen sowie vertikalen Wechsel unterschiedlicher Sedimentfolgen mit vorwiegend geringer Schichtneigung charakterisiert wird. Durch deren Unterschiede bezüglich der hydrogeologischen Eigenschaften, insbesondere der Durchlässigkeit, ergibt sich als typisches Kennzeichen die Ausbildung eines sog. Grundwasser-Stockwerkbaus. Hier wechseln sich mehrere Grundwasserleiter und Grundwasserstauer in vertikaler Abfolge ab [88].

Relevante oberflächennahe hydrogeologische Einheiten im Großraum Nürnberg sind der Jura im Osten, sowie der Keuper im Westen (Karte 33). Beide Einheiten weisen mäßige bis mittlere Durchlässigkeiten bzw. Ergiebigkeiten auf, und werden von quartären Grundwasservorkommen entlang der Fließgewässer durchzogen.

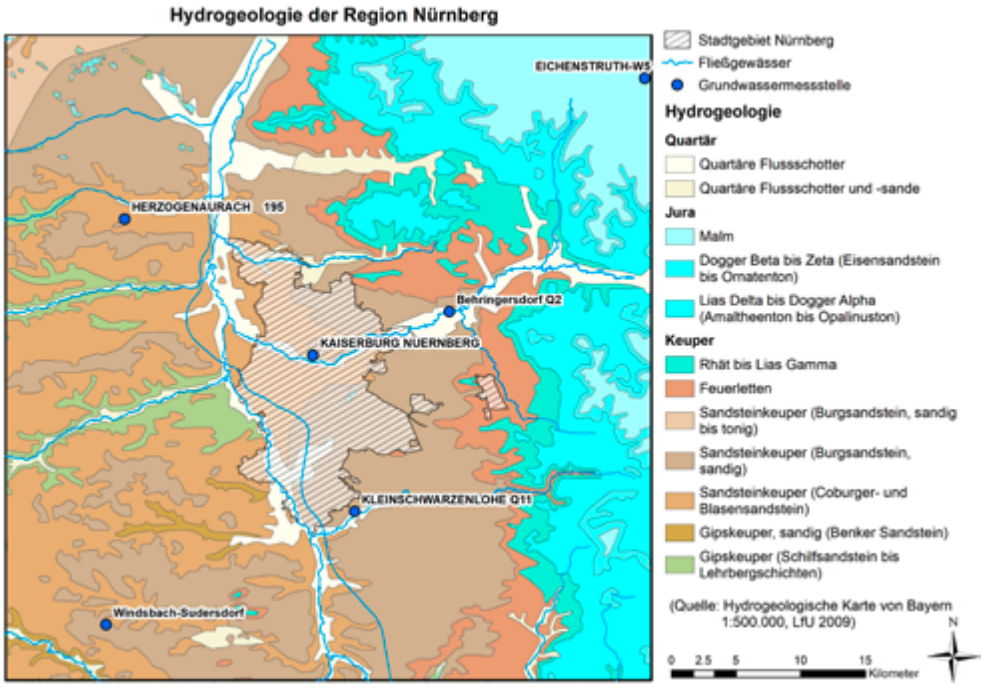
Langfristige Entwicklungen in Mittelfranken und im Großraum Nürnberg

Lufttemperatur und Niederschlag

In Mittelfranken traten seit dem Jahr 1951 die 10 wärmsten Jahre, mit Ausnahme des Jahres 1994, nach dem Jahr 2000 auf. Spitzenreiter waren dabei die Jahre 2022 und 2018, jeweils mit einer Abweichung von rund +2.1 °C gegenüber dem langjährigen Mittelwert 1971-2000 (Diagramm 30). Diese beobachtete Zunahme der Lufttemperatur führt bei ausreichendem Niederschlagsdargebot zu einer Zunahme der Verdunstung. Gleichzeitig haben sich die Niederschläge während des hydrologischen Winterhalbjahres (November bis April) im 10-Jahres Zeitraum 2013-2022 in Mittelfranken im Mittel um rund 14 % verringert. Beide Prozesse (Zunahme der Verdunstung, Abnahme der Winterniederschläge) gehen zu Lasten der Grundwasserneubildung aus Niederschlag.

Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Die mittlere Grundwasserneubildung im 30-jährigen Zeitraum 1991-2020 der Region Nürnberg beträgt rund 81 mm/a (Karte 34 links) beziehungsweise 81 Liter pro Quadratmeter und Jahr. Dieser Wert liegt weit unterhalb des Mittelwertes für Bayern und spiegelt die insgesamt limitierte Wasserver-



Karte 33: Räumliche Verteilung der relevanten oberflächennahen hydrogeologischen Einheiten im Großraum Nürnberg (LfU, 2009) mit Auswahl repräsentativer staatlicher Grundwassermessstellen in den hydrogeologischen Einheiten des Quartär, Jura und Keuper *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU)*

fügbarkeit der Region wieder. Gut erkennbar ist auch die heterogene Verteilung der Grundwasserneubildung in der Region Nürnberg, mit vergleichsweise hohen Raten im Bereich der weiträumig verkarsteten Malmkalke im Nordosten sowie deutlich geringeren Raten im übrigen Keuper-Bergland.

Auf Grund der genannten Auswirkungen der Temperaturerhöhung (= Zunahme der Verdunstung), der geringeren Winterniederschläge sowie des zuletzt gehäuften Auftretens von Trockenjahren hat sich die Grundwasserneubildung in den letzten 10 Jahren 2012-2021 im Mittel um -20 % auf rund 65 mm/a verringert (Karte 34 rechts). Die höchsten Abnahmen traten dabei im Bereich der Malmkalke (Jura) der nordöstlich von Nürnberg gelegenen Fränkischen Alb auf.

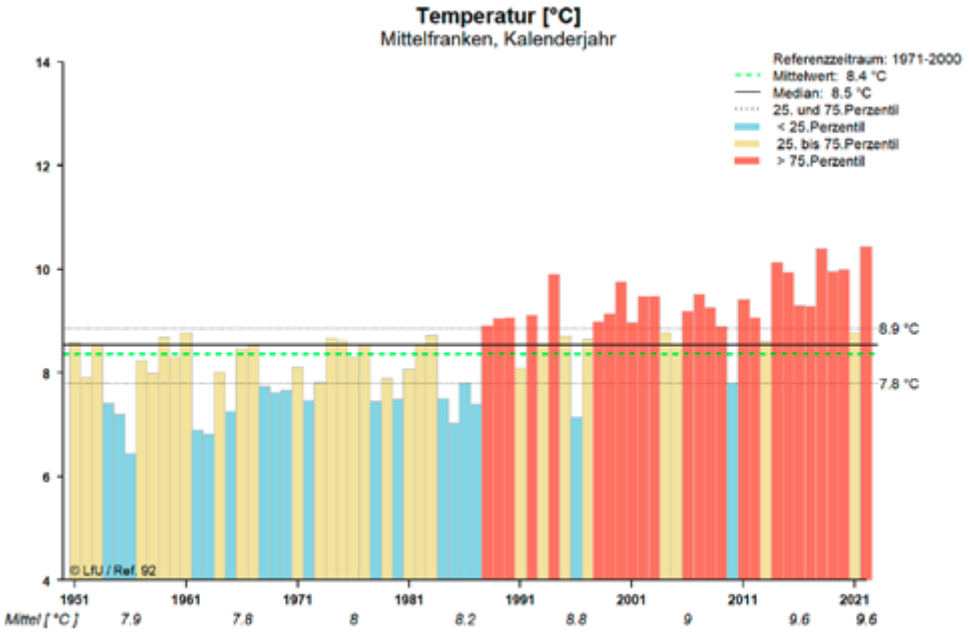
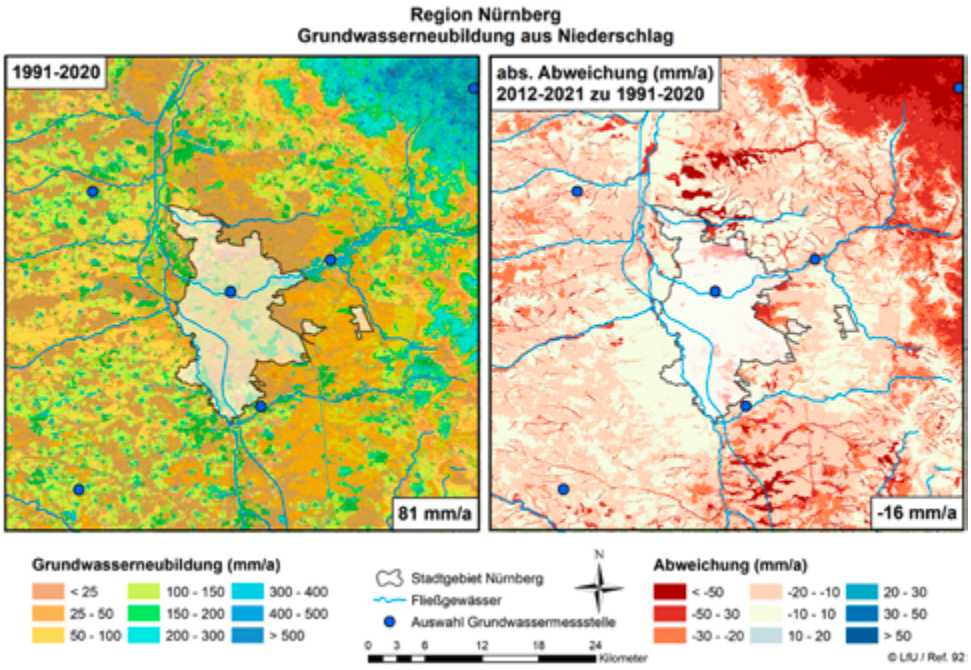


Diagramm 30: Mittlere jährliche Temperaturen für den Regierungsbezirk Mittelfranken der Jahre 1951 bis 2022 *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU; Datenquelle: Stationsdaten des Deutschen Wetterdienst, DWD)*



Karte 34: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag (mm/a) in der Region Nürnberg im Zeitraum 1991-2020 (links) und Abnahme der Grundwasserneubildungsraten (mm/a) in der Dekade 2012-2021 (rechts) *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU)*

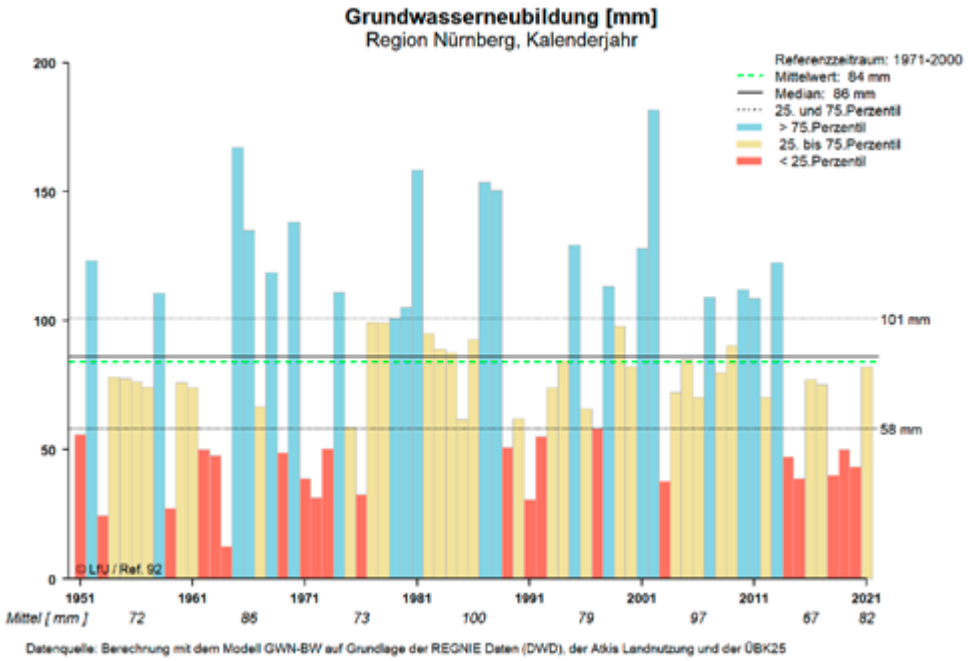


Diagramm 31: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag der Jahre 1951 bis 2021 für die Region Nürnberg *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU)*

Grundwasserstände

Die geringere Grundwasserneubildung in den letzten Jahren zeigt sich erwartungsgemäß in vielen Fällen auch in einer Abnahme der Grundwasserstände und der Quellschüttungen im oberen Grundwasserstockwerk. Eine Ausnahme bilden hier Grundwassermessstellen entlang des Quartärs der Fließgewässer. Diese reagieren zwar ebenfalls deutlich auf langanhaltende Trockenperioden mit gleichzeitig sehr geringen Abflüssen in den Fließgewässern, regenerieren sich jedoch auch schnell wieder, sobald die Fließgewässer in regenreichen Perioden wieder mehr Wasser führen (Diagramm 32 oben). Anders verhalten sich hingegen die gemessenen Grundwasserstände in fließgewässerfernen Grundwasservorkommen, noch dazu bei größeren Flurabständen (Abstand zwischen Gelände- und Grundwasseroberfläche). Hier führen ausbleibende Niederschläge zu einer Abnahme der Bodenwassergehalte, so dass sich entsprechend auch die gebildete Sickerwassermenge verringert und weniger Grundwasserneubildung erfolgt. Dieser Effekt zeigt sich gut erkennbar bei den gezeigten Messstellen HERZOGENAURACH 195, KAISERBURG NUERNBERG und Windsbach-Suddersdorf im Keuper-Bergland (Diagramm 32 Mitte und unten links) und besonders ausgeprägt bei der Messstelle EICHENSTRUTH-W5 im Malmkalk (Diagramm 32 unten rechts).

Die Entwicklung abnehmender Grundwasserstände in der Region Nürnberg wird durch Auswertungen zum Langzeitverhalten der erhobenen Grundwasserstände und Quellschüttungen an ausgewählten Messstellen in Bayern bis zum Jahr 2020 [89] bestätigt. So zeigen inzwischen rund 86 % der betrachteten Grundwassermessstellen und Quellen langfristig eine Tendenz zur Abnahme der mittleren Grundwasserstände und Quellschüttungen. In den letzten Jahren hat sich diese Entwicklung weiter fortgesetzt, womit sich die direkte Auswirkung der verringerten Grundwasserneubildung zeigt. Bis zuletzt wurden für das Jahr 2022 an vielen Messstellen in Bayern auch neue Niedrigstwerte erfasst (vgl. Diagramm 25 in Kapitel 2.2.3). Dies bedeutet, innerhalb der jeweils vorliegenden Gesamtzeitreihe wurde bisher noch kein niedrigerer Wert registriert. Die logische Konsequenz der jüngsten Häufung von Trockenjahren und der damit verbundenen verringerten Grundwasserneubildung.

Ausblick / zukünftige Entwicklung

Um Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Grundwasservorkommen treffen zu können, wurde mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW ein auditiertes Ensemble aus 13 Klimaprojektionen gerechnet. Alle Projektionen basieren auf dem IPCC-Emissionsszenario RCP8.5, also einem Szenario ohne Klimaschutz.

Anhand der Ergebnisse lassen sich mögliche zukünftige Entwicklungsszenarien aufzeigen, auch wenn diese mit teilweise hohen Unsicherheiten behaftet sind und eine große Bandbreite unterschiedlicher Entwicklungen aufweisen. Während für Mittelfranken einige Klimaprojektionen bis Mitte des Jahrhunderts (Zeitraum 2036-2065) eine leichte Zunahme der mittleren Grundwasserneubildung gegenüber dem Referenzzeitraum 1971-2000 erwarten lassen, zeigen andere Klimaprojektionen im dreißigjährigen Mittel eine teils deutliche Abnahme der Grundwasserneubildung um bis zu -30 % („Worst-case“).

In den letzten Jahren hat die beobachtete Zunahme der Lufttemperatur in etwa dem Verlauf der „worst-case-Projektion" entsprochen und es ist gleichzeitig zu einer Häufung ausgeprägter Trockenjahre gekommen. Aus Vorsorgegründen wird daher empfohlen, zukünftige Anpassungsmaßnahmen auf entsprechend trockene Entwicklungen und reduzierte Grundwasserneubildungsraten auszurichten. Diese Empfehlung wird gestützt durch die Tatsache, dass auch die Klimaprojektionen mit einer mittleren Zunahme der Grundwasserneubildung eine Häufung von Trockenjahren aufweisen, und somit alle möglichen Entwicklungspfade bzw. Klimaprojektionen mit hoher Wahrscheinlichkeit durch mehrjährige Dürreperioden geprägt sein werden.

Um die Versorgung mit Trinkwasser auch in Zukunft sicherzustellen, erfolgte zuletzt im Jahr 2016 durch die Regierung von Mittelfranken die Veröffentlichung der Wasserversorgungsbilanz Mittelfranken [90]. Diese wurde in enger Abstimmung mit den Wasserversorgern, den Kommunen, den Wasserwirtschaftsämtern Ansbach und Nürnberg, dem Landesamt für Umwelt sowie der Gesundheitsverwaltung erarbeitet.

Um dem Aspekt der zuletzt gehäuft aufgetretenen Trockenjahren, sowie der möglicherweise in Zukunft weiter verringerten Grundwasserneubildung, Rechnung zu tragen, erfolgt derzeit die Aktualisierung der Wasserversorgungsbilanz Mittelfranken. Die Fertigstellung ist für das Jahr 2025 geplant.

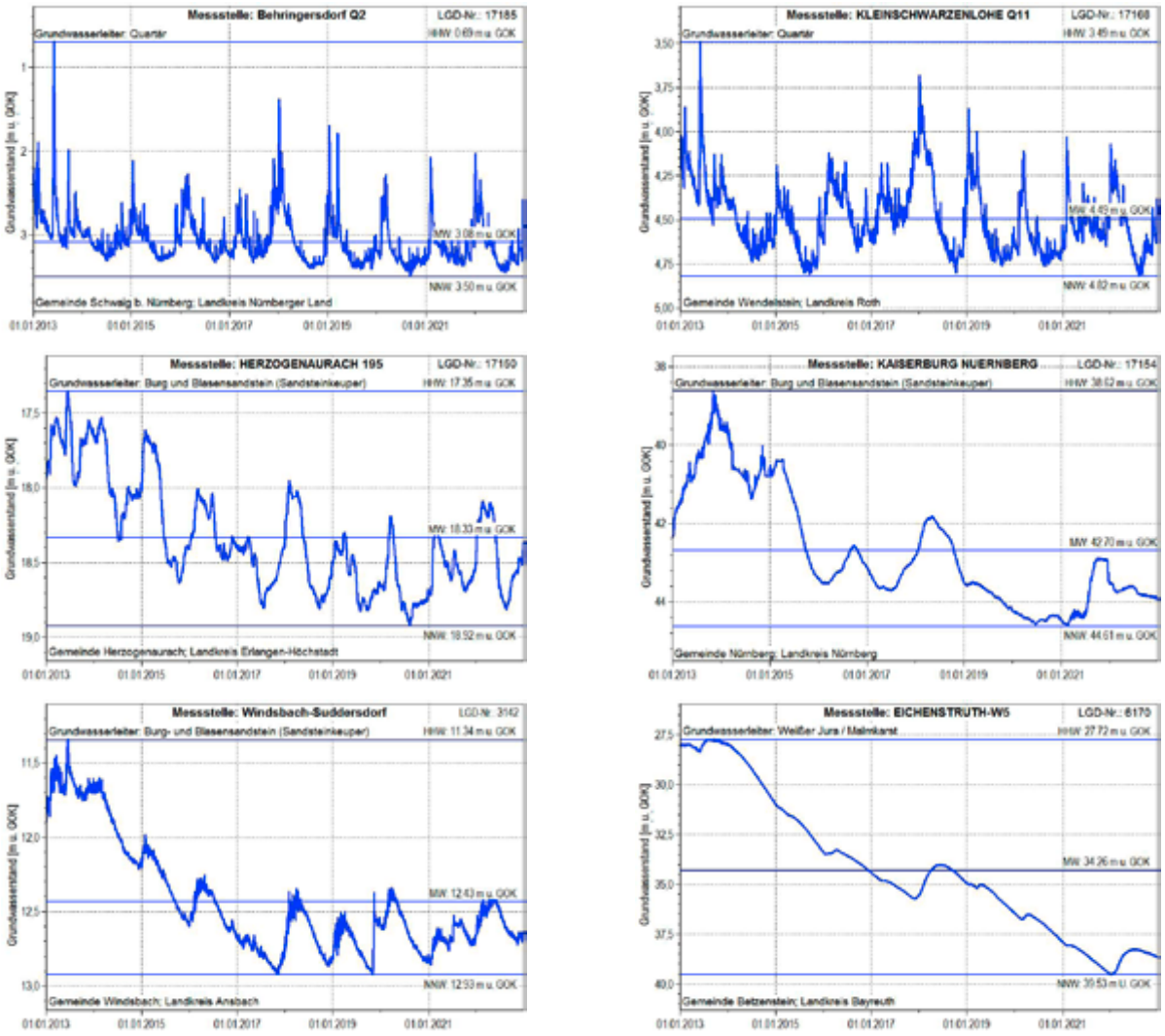


Diagramm 32: Entwicklung der Grundwasserstände an sechs ausgewählten Grundwassermessstellen in der Region Nürnberg. Während die quartären Messstellen (oben) keinen eindeutigen Trend aufweisen, zeigen sich bei den Messstellen im Keuper Bergland (Mitte, unten rechts) sowie im Malmkarst des Jura (unten links) eine Abnahme der gemessenen Grundwasserstände *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU)*

2.3.4 Grundwasserentnahmen und Bilanzierung der Wasserressource

Aktueller Stand der in Betrieb befindlichen Förderbrunnen und der Entnahmemengen

Im Stadtgebiet von Nürnberg sind rund 2.680 Grundwasserförderbrunnen, darunter knapp 2.000 Gartenbrunnen, in Betrieb. Weitere 132 Förderbrunnen verfügen über ein Wasserrecht, d.h. über Genehmigungen zur Grundwasserentnahme, sind aber derzeit nicht in Betrieb, fördern also aktuell kein Wasser. In Diagramm 33, Tabelle 12 und den Karte 35 und Karte 36 sind die Verteilung und die Dimension der geförderten Wassermengen nach Nutzungsarten dargestellt.

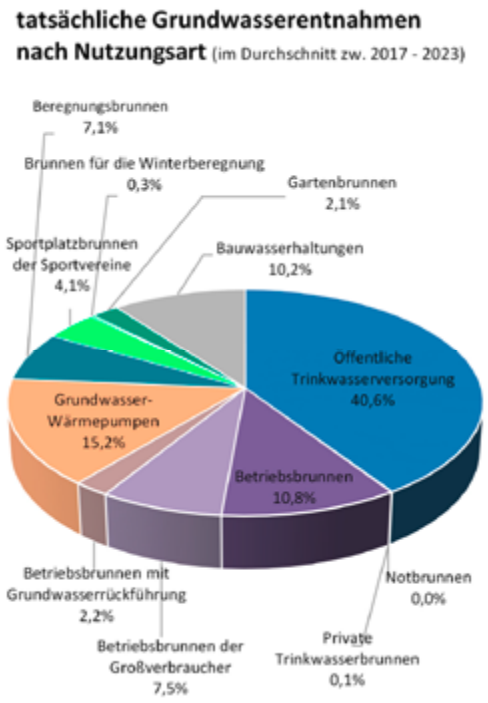


Diagramm 33: Anteil der tatsächlichen Grundwasserentnahmemengen nach Nutzungsarten - Mittelwert zwischen 2017 und 2022; vgl. Tabelle 12
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Die privaten Gartenbrunnen als auch vereinzelte Trinkwasserbrunnen (wenn ausnahmsweise kein Anschluss an die öffentliche Wasserversorgung vorliegt) dienen lediglich für den häuslichen Gebrauch (Bewässerung von Hausgärten), stellen zahlenmäßig aber mit rund 75 % den größten Anteil aller Brunnen dar. Doch sind die Entnahmemengen in der Größenordnung des „Hausgebrauchs" und damit relativ gering. In Summe kommen die grob angenommenen Entnahmemengen dennoch auf immerhin rund 2,0 % an den gesamten Grundwasserentnahmemengen in Nürnberg.

Alle anderen Brunnenanlagen, über die größere Mengen an Wasser zutage gefördert werden soll, benötigen eine wasserrechtliche Genehmigung (vgl. Kapitel 2.6.1). In diesem Zusammenhang wird eine maximale zugelassene Fördermenge pro Jahr festgelegt, die nicht überschritten werden darf. Es handelt sich um das Entnahmekontingent. Da mit dem festgelegten Entnahmekontingent auch Spitzenlasten abgedeckt werden sollen, liegt dieses in der Regel höher als die tatsächlichen Entnahmen, die über eine Wasseruhr abgelesen werden.

Erstmals konnten bei den vorliegenden Auswertungen des aktuellen Sachstands der Grundwassernutzungen die tatsächlichen Entnahmemengen mit einbezogen werden. Es fand dazu eine Nacherhebungsaktion und eine Zusammenführung vorhandener Informationen statt.

Sowohl bei den genehmigten Kontingentmengen als auch im Hinblick auf die tatsächlichen Entnahmemengen ist die N-ERGIE Aktiengesellschaft mit den Trinkwasserfassungen in Erlenstegen/Eichelberg der größte Grundwasserentnehmer in Nürnberg. Rund 40 % der Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet erfolgt für die Trinkwasserversorgung. Das weitere Einzugsgebiet für diese Wasserressource liegt hauptsächlich östlich und damit bereits außerhalb von Nürnberg.

Die betrieblichen Grundwassernutzungen konzentrieren sich entsprechend ihrer Nutzungsart in den Industrie- und Gewerbegebieten in Nürnberg, d.h. im Bereich der Nürnberger Südstadt Steinbühl und Gibitzenhof, sowie am Rangierbahnhof, außerdem in Schweinau, Langwasser und im Hafengebiet. Ebenso befinden sich Betriebsbrunnen in der Innenstadt, in Ziegelstein und Schafhof und am Nordbahnhof. Neben der Brunnenanlage der Deutschen Bahn am Rangierbahnhof sind es zwei weitere städtische Brunnenbetreiber, die mit Kontingenten >0,5 Mio m³ zu den „Großverbrauchern" gezählt werden. Diese drei Brunnenbetreiber halten rund 40 % der Entnahmekontingente aller in Betrieb befindlichen Betriebsbrunnen im Stadtgebiet. Insgesamt werden 1,97 Mio m³/a Grundwasser durch die in Betrieb befindlichen Betriebsbrunnen im Stadtgebiet im Durchschnitt der Jahre 2017-2022 gefördert. Ein Anteil in Höhe von 0,21 Mio m³/a wird unmittelbar in das Grundwasser zurückgeführt und belastet den Grundwasservorrat damit nicht. Dieses Wasser wird meist zur Kühlung im Produktionsprozess benötigt. Es handelt sich hierbei um die „Betriebsbrunnen mit Grundwasserrückführung".

Ebenso verhält es sich mit dem geförderten Wasser für Grundwasser-Wärmepumpenanlagen zum Heizen oder Kühlen von Gebäuden. Das Grundwasser wird in der Regel unmittelbar wieder in den Grundwasserkörper über Sickerbrunnen, vereinzelt auch in Oberflächengewässer, zurückgeführt.

Brunnennutzung (Brunnen in Betrieb)	Anzahl Förder-brunnen	Genehmigte Entnahme-kontingente (gesamt zwischen 2017-2022; nur teilweise alle gleichzeitig) [Mio. m³/a]	tatsächliche Entnahmen (Mittelwert 2017-2022) [Mio. m³/a]	Anteil der tatsächlichen Entnahmen vom jeweils geltenden Kontingent %
Öffentliche Trinkwasserversorgung	96	14,9	3,91	26,3%
Private Trinkwasserbrunnen	26	geringe Mengen	keine Angaben	---
Notbrunnen	117	keine Kontingente, Entnahmen nur nach Bedarf	--	--
Betriebsbrunnen (34 Anlagen)	50	3,37	1,04	32,3%
Betriebsbrunnen der Großverbraucher (Deutsche Bundesbahn, Klärwerke, Tiergarten)	16	2,76	0,72	25,9%
Betriebsbrunnen mit Grundwasserrückführung (7 Anlagen i.d.R. für Kühlzwecke)	8	0,67 [1)]	0,21 [1)]	37%
Grundwasser-Wärmepumpen	79	2,06 [1)]	1,47 [1), 2)]	72% [1), 2)]
Beregnungsbrunnen	247	1,75	0,68	56,2%
Sportplatzbrunnen der Sportvereine	51	0,53	0,39	74,4%
Brunnen für die Winterberegnung	15	0,03	0,03	93,1%
Gartenbrunnen	1974	keine Kontingente, geringe Mengen	0,20 [2)]	---
Betriebs- und Beregnungsbrunnen (ohne Trinkwasserversorgung) **Gesamt**	**2440**	**11,16**	**4,74**	
Bauwasserhaltungen (Grundwasserentnahmen zur Trockenlegung von Baugruben)			0,99	---
Grundwasserentnahmen gesamt	**2679**	---	**9,64**	---
Grundwasserentnahmen gesamt ohne Entnahmemengen die das Wasser dem Grundwasserkörper wieder zurückführen	**2.449**	---	**7,96**	---

1) das geförderte Grundwasser wird über Schluckbrunnen dem Grundwasserkörper wieder zurückgeführt

2) (teils) geschätzte tatsächliche Entnahmen

Tabelle 12: Überblick über Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet; Mittelwerte zwischen 2017 bis 2022 - inzwischen stillgelegte Anlagen sind hierin noch anteilig enthalten vgl. auch Diagramm 34 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Diese Grundwasserentnahmen machen seit den 80er Jahren einen zunehmenden Anteil an den Grundwassernutzungen im Stadtgebiet aus (vgl. auch Kapitel 1.2.3). Mit den aktuell in Betrieb befindlichen Wärmepumpen beläuft sich gemäß grob geschätzten tatsächlichen Fördermengen der Anteil auf ca.15 % an der gesamten geförderten Wassermenge im Stadtgebiet (knapp 1,5 Mio m³ Fördermenge). Neben dem relativen Einfluss auf die Grundwassertemperatur haben auch diese Grundwassernutzungen nur einen kleinräumigen und geringen Einfluss auf den mengenmäßigen Zustand des Grundwassers.

Beregnungsbrunnen dienen zur Bewässerung vorwiegend landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Flächen aber auch zur Bewässerung öffentlicher Flächen sowie von Sportplätzen oder auch der Grünflächen von Wohnanlagen. Der Anteil an der Gesamtzahl von Brunnen im Stadtgebiet ist mit ca. 315 in Betrieb befindlichen Brunnen relativ hoch. Etwa 2/3 dieser Beregnungsbrunnen befindet sich im Norden Nürnbergs, d.h. im Gemüseanbaugebiet Knoblauchsland. Mit ca. 0,6 Mio m³ /a tatsächlich im Durchschnitt der Jahre 2017-2022 geförderter Wassermengen (ca. 60 % der tatsächlichen Fördermenge aller Beregnungsbrunnen) unterstützen diese Brunnen die Bewässerung der Sonderkulturen. Der Großteil der Bewässerung im Knoblauchsland, 2,7 Mio m³/a im Durchschnitt der Jahre 2017-2022, erfolgt jedoch mittels der „Wasserbeileitung aus dem Regnitztal" (vgl. Kapitel 2.5.2). 51 Sportplatzbrunnen versorgen v.a. die Rasensportflächen (z.B. Fußballplätze) mit 0,4 Mio m³/a. Auf die übrigen Beregnungsbrunnen verteilen sich Entnahmemengen von ca. 0,1 Mio m³/a. Die Grundwasserentnahmen für die Bewässerung belaufen sich insgesamt auf 1,3 Mio m³/a (inkl. privater Gartenbrunnen 0,2 Mio m³).

Notbrunnen dienen dazu, die Trinkwasserversorgung der Nürnberger Bevölkerung im Katastrophenfall sicherzustellen. Im Stadtgebiet existieren 117 Notbrunnen. Sie wurden nach Einwohnerzahl und förderbare Wassermenge sinnvoll auf die Stadtteile verteilt. Die Versorgung ist so ausgelegt, dass im Bedarfsfall pro Kopf und Tag 15 Liter Wasser abgegeben werden können.

Temporäre Grundwassernutzungen sind in der Regel Bauwasserhaltungen zur Trockenhaltung von Baugruben, wenn diese in den Grundwasserkörper hineinreichen. Auch diese Grundwasserbenutzungen sind genehmigungspflichtig. Die bei der vorliegenden Auswertung angesetzten „tatsächlichen" Entnahmemengen sind i.d.R. sehr grobe Angaben aus der erwarteten Wassermenge bei Antragstellung (Annahmen). Zum Teil wird das abgepumpte Wasser dem Grundwasserhaushalt durch Versickerung wieder zugeführt, der Großteil aber wird direkt in nahegelegene oder indirekt über die Kanalisation in Oberflächengewässer abgeleitet. Im Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2022 wurden jährlich 77 Bauwasserhaltungen betrieben. Die größte Anzahl mit 97 Bauwasserhaltungen wurde für das Jahr 2022 registriert. Die größte Bauwasserhaltungsmaßnahme wird für den U-Bahnbau im Westen der Stadt (Verlängerung der U3) durchgeführt.

Entwicklungen bei den Betriebs- und Beregnungsbrunnen

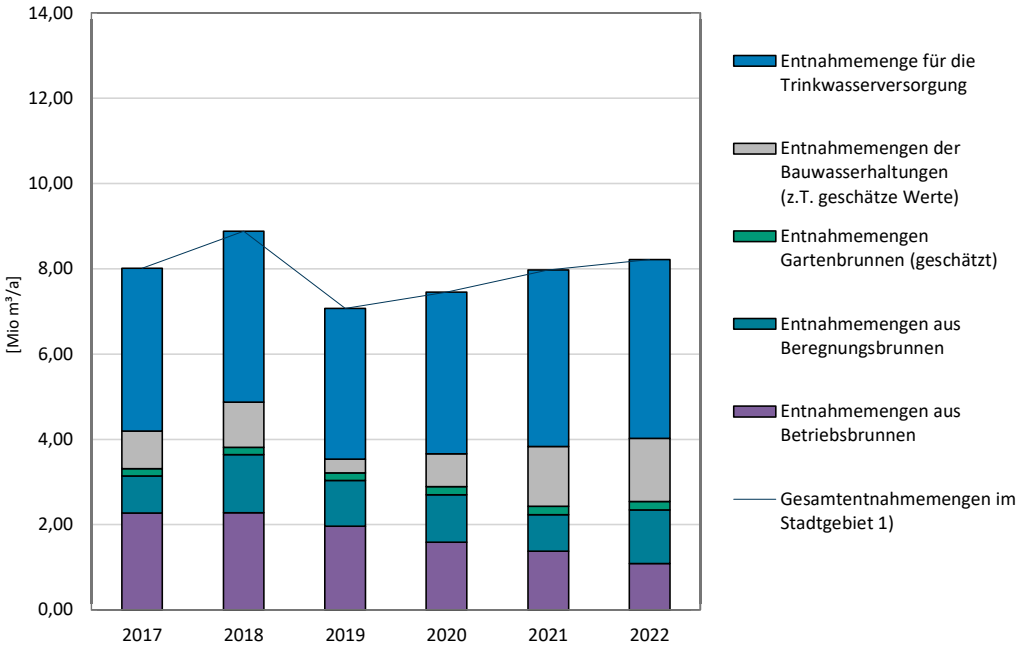
Mit dem Strukturwandel vom Produktionsstandort zum Dienstleistungsstandort ging in der Vergangenheit der Bedarf an Brauchwasser für die Industrie im Stadtgebiet immer weiter zurück. Diese Entwicklung schien im Zeitraum 2011 bis 2016 gestoppt zu sein.

In den letzten 6 Jahren zwischen 2017 und 2022 sind nun erneut zahlreiche Betriebsbrunnen mit z.T. hohen Entnahmekontingenten außer Betrieb genommen oder das Wasserrecht widerrufen worden. Es handelt sich dabei um Betriebsbrunnen von Lebensmittelproduzenten, von Druckereien und anderen Gewerben mit einem Entnahmemengenkontingent von insgesamt 1,5 Mio m³/a. Zusätzlich sind in diesem Zeitraum 13 Beregnungsbrunnen und 4 Brunnen für Wärmepumpenanlagen außer Betrieb genommen, zum untergeordneten Teil ist dort das Wasserrecht widerrufen worden. Diese haben/hatten ein Kontingent von insgesamt 0,41 Mio m³/a.

Damit ist ein Entnahmekontingent von insgesamt ca. 1,9 Mio m³/a in den Jahren zwischen 2017 und 2022 außer Nutzung genommen worden.

Gleichzeitig wurden in diesem Zeitraum von 2017 bis 2022 8 Betriebsbrunnen, 9 Beregnungsbrunnen und 4 Brunnen für Wärmepumpenanlagen neu errichtet bzw. in Betrieb genommen. Insgesamt wurden hierfür Entnahmemengen in Höhe von 0,68 Mio m³/a neu genehmigt. Im Vergleichszeit-

tatsächliche Entnahmemengen im Stadtgebiet
(ohne Grundwasser-Wärmepumpen und Entnahmen für Kühlzwecke, weil dort unmittelbare Rückführung ins System)



1) ohne wenige private Trinkwasserbrunnen sowie ohne Brunnenentnahmen, bei welchen das Grundwasser in den Grundwasserhaushalt zurückgeführt wird (Wärmepumpen, einige Kühlanlagen)

Diagramm 34: tatsächliche Entnahmemengen; Entwicklungen zwischen 2017 und 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

raum der Jahre 2011 bis 2016 wurde insgesamt bei 12 Beregnungsbrunnen, 10 Betriebsbrunnen und 9 Förderbrunnen für Wärmepumpenanlagen eine Entnahmegenehmigung von insgesamt 0,96 Mio m³/a erteilt.

Im Zuge von Erneuerungsanträgen für die Entnahmegenehmigung bei bereits bestehenden Brunnen, bei welchen das Wasserrecht ausläuft, wurde der tatsächliche Bedarf an Entnahmekontingenten geprüft und entsprechend angepasst. So sind vor allem bei den Wärmepumpen die Entnahmemengen um insgesamt 0,2 Mio m³/a nach unten korrigiert worden, während bei den Beregnungsbrunnen vereinzelt Kontingente aufgrund erhöhten Bedarfes aufgestockt wurden. Die Kontingenterhöhungen zwischen 2017 und 2022 belaufen sich auf insgesamt 0,07 Mio m³.

Einen besonders starken Zuwachs haben die Gartenbrunnen erfahren. Im Zeitraum zwischen 2017 und 2022 wurden rund 300 Gartenbrunnen neu gebohrt.

Auswertung zur Nachhaltigkeit der Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet von Nürnberg

Die Nachhaltigkeit der Grundwasserentnahmen orientiert sich an den verfügbaren und aus Grundwasserneubildung erneuerbaren Wasserressourcen.

Gemäß Umweltbundesamt [91] sollten die Wasserentnahmen 20 % der langfristig erneuerbaren Wasserressourcen (Wasserdargebot) nicht überschreiten. Darüber hinaus spricht man von Wasserstress [92]. Das Wasserdargebot gibt die langjährig statistisch ermittelte Wassermenge an Oberflächen- und Grundwasser an, die potentiell genutzt werden kann. Sie setzt sich zusammen aus der „gebietsbürdigen" (internen) Wasserressource, die sich aus der Wasserbilanz (vgl. Wasserhaushalt unter Kapitel 2.1) ergibt und aus den Zuflüssen von außerhalb des betrachteten Gebietes. Für Nürnberg liegen entsprechende konkrete Zahlen im Hinblick auf die Zu- und Abflüsse nicht vor.

Ein weiterer Anhaltspunkt für die Bewertung einer nachhaltigen Nutzung ist das Kriterium der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL [3]) zur Einschätzung des Risikos, den guten mengenmäßigen Zustand des Grundwasserkörpers zu verfehlen (vgl. [93], [94]). Hier wird als Orientierungswert für das nutzbare Dargebot 30 % der Grundwasserneubildung angesetzt.

Die anzuwendende Grundwasserneubildungsrate ist grundsätzlich nach der konkreten Sachlage im Einzelfall zu ermitteln/abzuschätzen. Relevant sind z.B. die Landnutzung und die hydrogeologischen Voraussetzungen des betrachteten Gebietes. Es müssen zudem die Grundwasserkörper in Ihren jeweiligen Ausdehnungen in die Betrachtung einfließen. Da Nürnberg regional stark unterschiedliche Landnutzungen und Versiegelungsgrade aufweist und die Grundwasserkörper nicht an der Stadtgrenze enden, kann für das Stadtgebiet nur eine näherungsweise Bilanzierungsbetrachtung erfolgen.

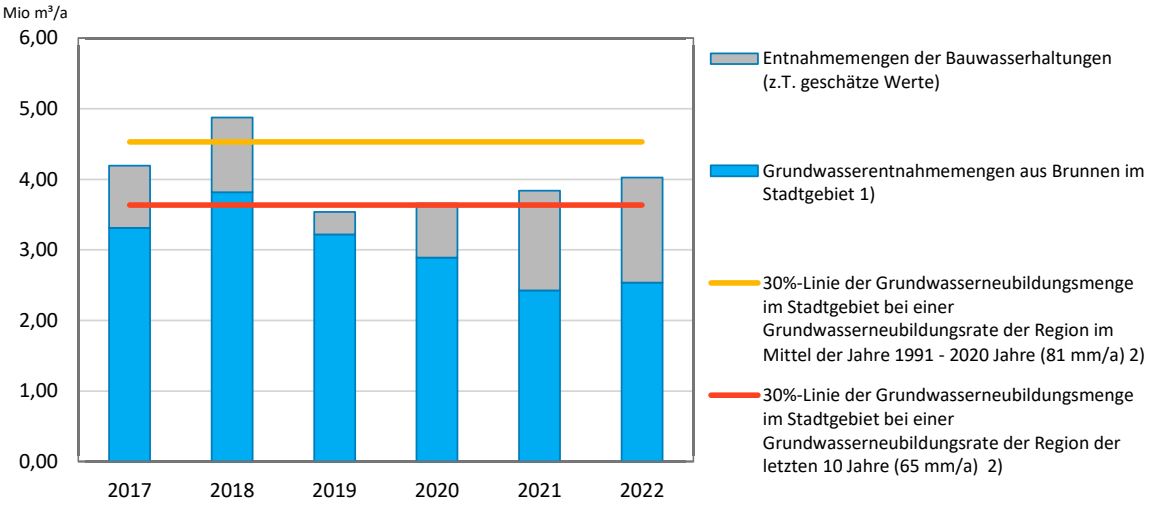
Zur Einschätzung der Nachhaltigkeit der Grundwassernutzungen im gesamten Stadtgebiet wird für die Grundwasserneubildung zum einen der langjährige durchschnittliche Wert der Grundwasserneubildungsrate, zum anderen der Durchschnittswert der letzten 10 Jahre jeweils für die Region (vgl. Kapitel 2.2.3) herangezogen. Damit wird letztlich eine Spannbreite der erneuerbaren Wasserressource aus Niederschlag für das Stadtgebiet dargestellt. Die vorgestellte Bilanz ist insofern als Grobüberblick zu verstehen.

Die Entnahmen für die Trinkwasserversorgung fließen in die vorliegende Bilanzierung nicht ein, da deren Einzugsgebiet (Gebiet der Grundwasserneubildung dieser genutzten Grundwasservorräte) größtenteils außerhalb der Stadtgebietsgrenze liegt.

Die hier vorgelegten Auswertungen für Nürnberg zeigen im Gesamtüberblick über das Stadtgebiet, dass die tatsächlichen Grundwasserentnahmen der Betriebs- und Beregnungsbrunnen (ohne Grundwasser-Wärmepumpen und ohne Entnahmen mit Grundwasserrückführung) sich zuletzt weitgehend im Feld einer nachhaltigen Nutzung bewegen (vgl. Diagramm 35). Dabei sind es die wechselnden, temporär anfallenden Mengen an Bauwasserhaltungsmaßnahmen, die teilweise eine Überschreitung der Nachhaltigkeitsschwelle verursachen. Da bereits wieder ein steigender Bedarf an neuen Brunnenbohrungen (siehe oben) erkennbar ist und sich gleichzeitig in den letzten 10 Jahren die Grundwasserneubildungsrate verringert hat, zeigt die Grafik auch, wie groß der Nutzungsdruck, angesichts des knappen Gleichgewichtes zwischen Grundwasserentnahme und -neubildung, auf die Grundwasserressource ist. Das bedeutet für die Genehmigungspraxis, d.h. für die Vergabe von Entnahmekontingenten, eine besondere Herausforderung und Verantwortung im Hinblick auf die Erhaltung eines guten mengenmäßigen Zustands des Grundwassers, die Vermeidung von Beeinträchtigung bereits bestehender Nutzungen und einen gerechten Ausgleich der Nutzungsinteressen (vgl. Kapitel 2.6.1).

← INHALT

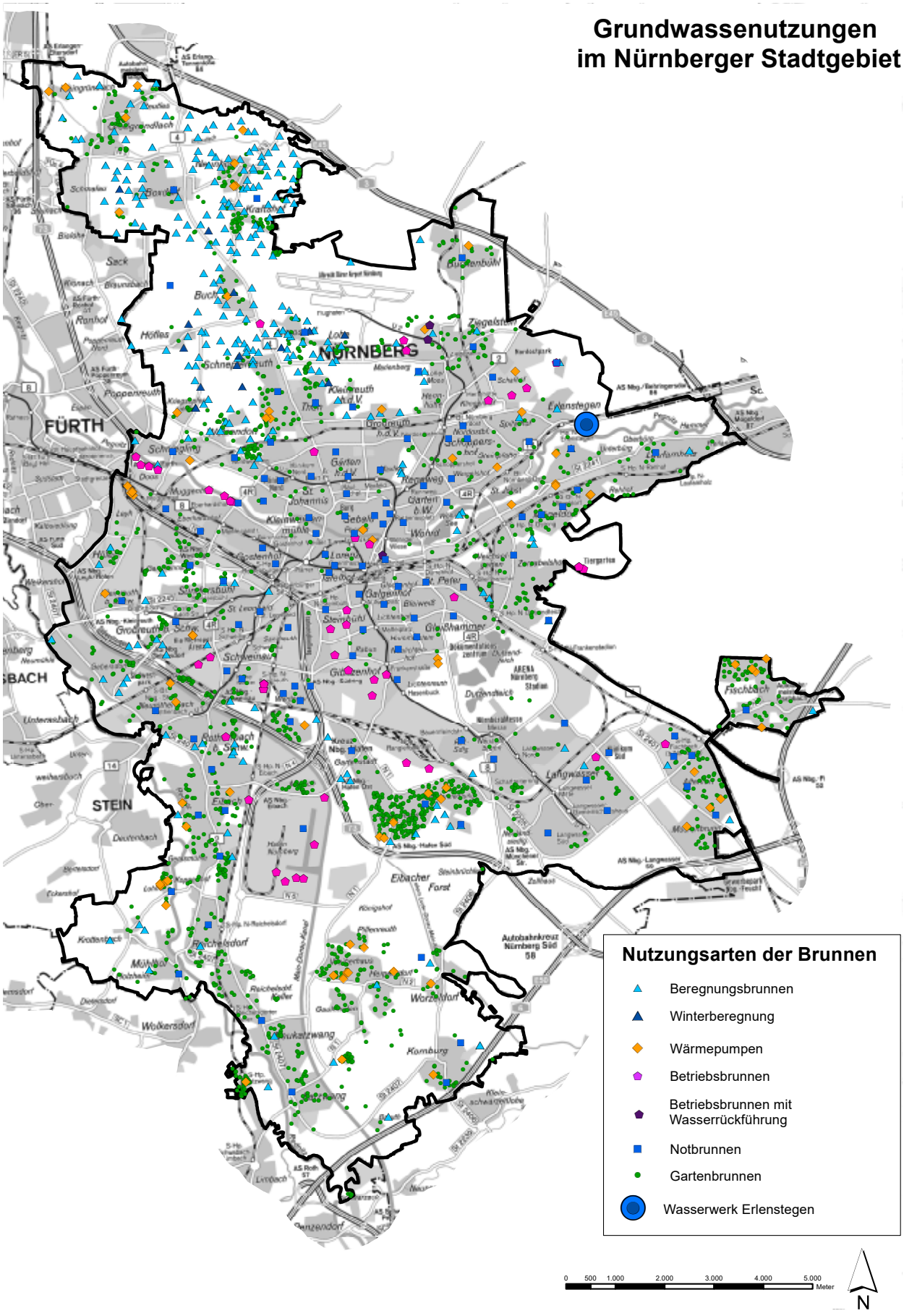
Bilanzierung der tatsächliche Entnahmemengen im Stadtgebiet in Relation zur Grundwasserneubildungmenge



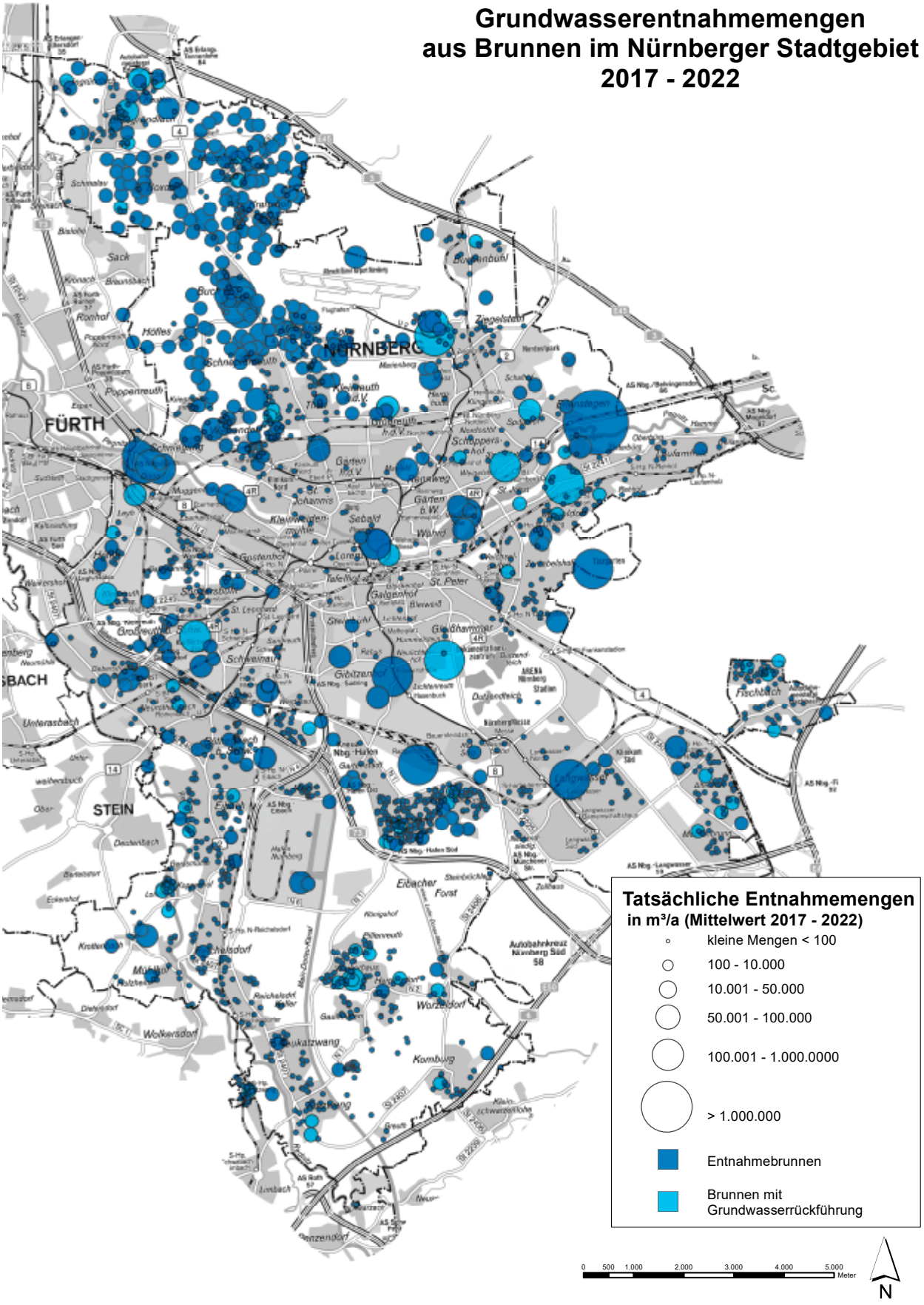
1) ohne Trinkwasserentnahmen; und ohne Brunnenentnahmen, bei welchen das Grundwasser in den Kreislauf zurückgeführt wird (Wärmepumpen, einige Kühlanlagen); jedoch incl. Gartenbrunnen (geschätzte Mengen)

2) anhand der jeweils zugrundegelegten Grundwasserneubildungsrate (vgl. Kapitel 2.3.3) errechnete Grundwasserneubildungsmenge für die Stadgebietsfläche (186,4 km²); **30%-Linien:** entsprichen dem Kriterium der Wasserrahmerichtlinie, zur Einschätzung des Risikos, den guten mengenmäßigen Zustand eines Grundwasserkörpers zu verfehlen [93], [94]

Diagramm 35: tatsächliche Grundwasserentnahmemengen im Stadtgebiet in Relation zur Grundwasserneubildung *(Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



Karte 35: Verteilung der in Betrieb befindlichen Entnahmebrunnen im Stadtgebiet nach Nutzungsarten - Stand 2022
(Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Karte 36: Verteilung der in Betrieb befindlichen Entnahmebrunnen im Stadtgebiet mit Darstellung der tatsächlichen Entnahmemengen - jährliche Entnahmemenge als Mittelwert zwischen 2017-2022 *(Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

2.4 Auswirkungen eines verändernden Wasserhaushalts auf den Naturhaushalt am Beispiel des Marienbergweihers

Einleitung

Verringerte Niederschläge als auch zunehmende Versiegelungen im urbanen Raum wirken sich, wie in den Kapiteln 2.3.2 und 2.3.3 dargestellt, in Form sinkender Grundwasserneubildungsraten und sinkender Grundwasserstände aus. Im Naturhaushalt zeigen sich diese Effekte in der Vitalität von Pflanzen und Bäumen und besonders deutlich bei grundwassernahen bzw. grundwassergespeisten Landschaftselementen und Feuchtbiotopen. Ein sehr augenscheinliches Beispiel ist der künstlich angelegte Weiher im Volkspark Marienberg.

Dieser ist nicht nur einer der wichtigsten Naherholungsräume der Stadt Nürnberg, sondern auch eine der wichtigsten städtischen „Naturinseln" mit einer bedeutenden Funktion für die städtische Pflanzen- und Tierwelt. Auf Grund seiner hochwertigen Lebensraumausstattung, bestehend aus unterschiedlichen Biotopelementen wie Baumbeständen, Gebüschen, Gewässern und artenreichen Wiesen ist der gesamte Park gemäß dem Arten- und Biotopschutzprogramm als überregional bedeutsame Fläche kartiert. Gemäß der Stadtbiotopkartierung unterliegen einige Flächen dem gesetzlichen Schutz nach § 30 BNatSchG. Das Mosaik aus unterschiedlichen Biotoptypen macht den Marienbergpark zu einem Hot-Spot der Nürnberger Artenvielfalt. So beherbergt der Park viele geschützte Tierarten, wie beispielsweise die seltene Knoblauchkröte (*Pelobates fuscus*), die FFH-Art Zauneidechse (Lacerta agilis) und eine hohe Anzahl an geschützten Vogelarten und Insekten. Die Feuchtbiotope des Marienbergparks sind hierbei ein entscheidender Baustein, denn viele Arten wie die Knoblauchkröte oder Libellen sind im Zuge Ihrer Entwicklung auf Wasser angewiesen.

Der Marienbergweiher verfügt über keinen natürlichen Zulauf und ist ausschließlich grundwassergespeist, ein sog. Himmelsweiher. In jüngerer Zeit war er immer wieder von schwankenden, zum Teil sehr niedrigen Wasserständen geprägt. So begann im Nachgang der trockenen Sommer 2018 und 2019 im Herbst 2019 der Grund des Marienbergweihers sichtbar zu werden und ein Ausbleiben von Niederschlägen im Herbst verhinderte ein Steigen des Wasserstandes bis zum Winter. Deshalb wurde vom Servicebetrieb Öffentlicher Raum der Stadt Nürnberg ab Dezember 2019 eine Untersuchung von Strategien zum Umgang mit diesem Phänomen durchgeführt.

Historie

Im 19. Jahrhundert befanden sich auf dem Gelände des heutigen Volksparks große, feuchte Allmendeflächen (Großreuther Espan), verschiedene Teiche und im Nordosten ein Teil des Sebalder Reichswaldes.

In den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts war der Forst gerodet und es wurde ein Flughafen zwischen Großreuth und der Marienbergstraße errichtet, im Osten begrenzt durch Ziegelstein und im Westen durch die damalige Einöde Neuhaus.

Unter der Herrschaft der Nationalsozialisten wurde der Flugplatz nach Westen bis Kleinreuth ausgedehnt und um einen militärischen Teil erweitert. In diese Zeit fällt auch der Bau einer Drainageanlage.

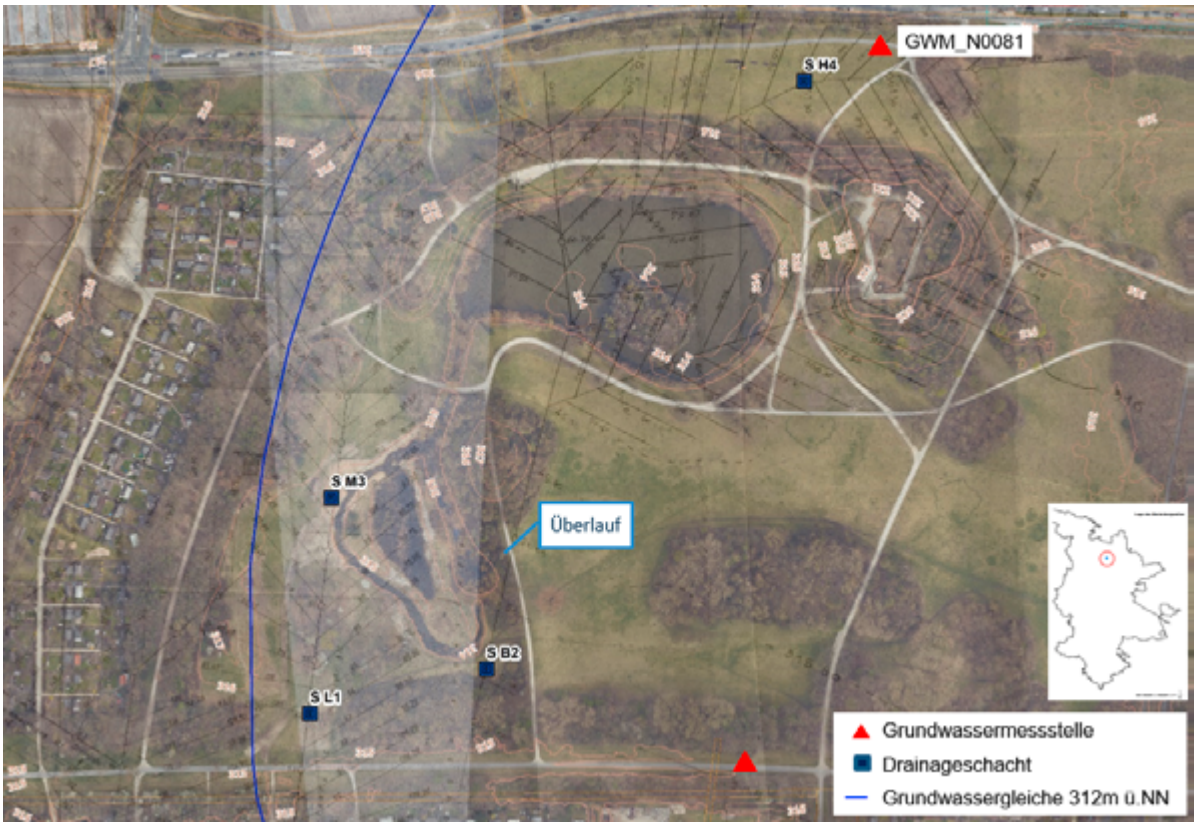
Dieses Drainagesystem liegt auf ca. 90 bis 120 cm unter dem ehemaligen Geländeniveau und diente dazu, über den offensichtlich vorhandenen Lettenlagen das Wasser im rechten Winkel zur ursprünglichen Fließrichtung Richtung Wetzendorfer Landgraben abzuleiten.

In den westlich der Marienbergweihers gelegenen Kleingartenanlagen sind diese Drainagen nach wie vor notwendig und müssen unterhalten werden, um die Vernässung der Anlagen zu verhindern.

Nach dem Bau des neuen Flughafens weiter im Norden des Nürnberger Stadtgebietes, wurden Schritt für Schritt unter Regie des Gartenbauamtes der Volkspark und die heute bestehenden Kleingartenanlagen errichtet. Die Bauzeit kann auf 1957-1973 datiert werden.

Das Gartenbauamt legte die Planung des Weihers gezielt in dieses System. Die Nutzung der Wasserzufuhr aus diesen Drainagen war durchaus beabsichtigt, wie das folgende Zitat zeigt:

„Der Weiher im neu erstandenen „Volkspark Marienberg" hat allerdings nur 2 ha Fläche; er wird vom Grundwasser gespeist bzw. aus Drainagen, die früher zur Melioration des Geländes gelegt wurden" [65].



Karte 37: Projizierte Darstellung der alten Ausführungspläne des Drainagesystems (Lage ungefähr) *(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum; Kartengrundlagen: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik (SUN); Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltug)*

Aus den Unterlagen des damaligen Wasserrechtsverfahrens (Stadt Nürnberg) geht folgendes hervor:

In einem Abstimmungsprozess zwischen Gartenbauamt, staatlichem Wasserwirtschaftsamt Nürnberg und dem Hauptamt für Tiefbauwesen von Juli 1958 bis Juli 1959, während der laufenden Baumaßnahme, wurde ein Wasserrechtsbescheid mit folgenden Inhalten erzielt:

- Der Teich wird als Grundwasserteich gebaut.
- Der Teich wird gezielt in das bestehende Drainagesystem gesetzt, um dauerhafte Bespannung zu erreichen.
- Damit soll eine dauerhafte Erhöhung des Grundwasserspiegels erreicht werden.
- Die maximale Wasserspiegelhöhe darf die Kote von 314,28 m ü.NN nicht übersteigen.
- Der Weiherabfluss darf (vorläufig) in den Drainagesammelstrang zum Wetzendorfer Landgraben erfolgen.

Die Sohle der Drainage wird an der Stelle der Einleitung mit 313,27 m ü.NN angegeben. Aufgrund der zwischenzeitlichen Anpassung auf das neue amtliche Höhenbezugssystem „Deutsches Haupthöhennetz 2016“ (DHHN2016) sind diese Werte um ca. 4 cm nach unten zu korrigieren.

Ca. 60 m nördlich des Drainageschachtes B2 wurde der Abfluss des Teiches in Form eines kreisrunden Beckens angelegt. Ob dieser Überlauf jemals gebaut wurde ist nicht dokumentiert. Vor Ort sind jedenfalls keine Bauwerke sichtbar.

Es ist davon auszugehen, dass die Drainageleitung zwischen dem Überlauf und dem Marienbergweiher bei der Anlage des Parks zurückgebaut wurde, um ein Abfließen des Wassers zu verhindern.

Ausgangssituation

Bei planmäßigem Wasserstand beträgt die Wasserfläche des Weihers ohne den ehemaligen Wasserarm (Überlauf) ziemlich genau 20.000 Quadratmeter - zwei Hektar.

Vor der Anlage des Marienbergweihers war das Gelände planeben, weil es als Rollfeld für den Flugplatz diente. Das Gelände liegt auf einer Höhe zwischen 315 und 316 m NHN mit leichtem Gefälle von Ost nach West. Es ist davon auszugehen, dass die bestehenden Erhebungen mit dem Aushubmaterial bei der Anlage des Weihers und des nach Süden auskragenden Armes aufgeschüttet wurden.

Das Niveau der Uferlinie entspricht dem Wasserstand bei normaler Füllung des Weihers und ist auf einer Höhe von ca. 314,21 m NHN anzusetzen. Das entspricht an den meisten Stellen einem Wasserstand von ca. 55 cm.

Die geologische Karte für Bayern (Geologisches Landesamt Bayern) [95] markiert westlich des Marienbergweihers genau die Grenze zwischen quartären Flugsanden und Coburger Sandstein aus dem Trias. Die Flächen des ehemaligen Flugfeldes sind als Auffüllung dargestellt.

Aus den Bohrprofilen der beiden Grundwassermessstellen (Pegel) im Gebiet (Lage vgl. Karte 37) ist ebenfalls wertvolle Information über den vorliegenden Boden zu gewinnen. Insbesondere finden sich Hinweise auf unregelmäßig eingestreute bindige Tonschichten.

Der Aufschluss des Pegels GWM_N0081 (knapp 150 m nördlich des Teiches) zeigt, dass bereits in 1,60 m Tiefe eine Lettenlage vorliegt. Zur Zeit der Bohrung (2008) lag der Grundwasserdruckspiegel bei 1,55 m unter Gelände und damit oberhalb der bindigen Schicht über dem Sandstein. Es ist von einem ursprünglich relativ stabilen Grundwasserstand auf diesem Niveau auszugehen. Zu beachten ist, dass der Pegelausbau ein Schichten- oder Grundwasser oberhalb der Lettenlage nicht miterfasst (vgl. Abbildung 26).

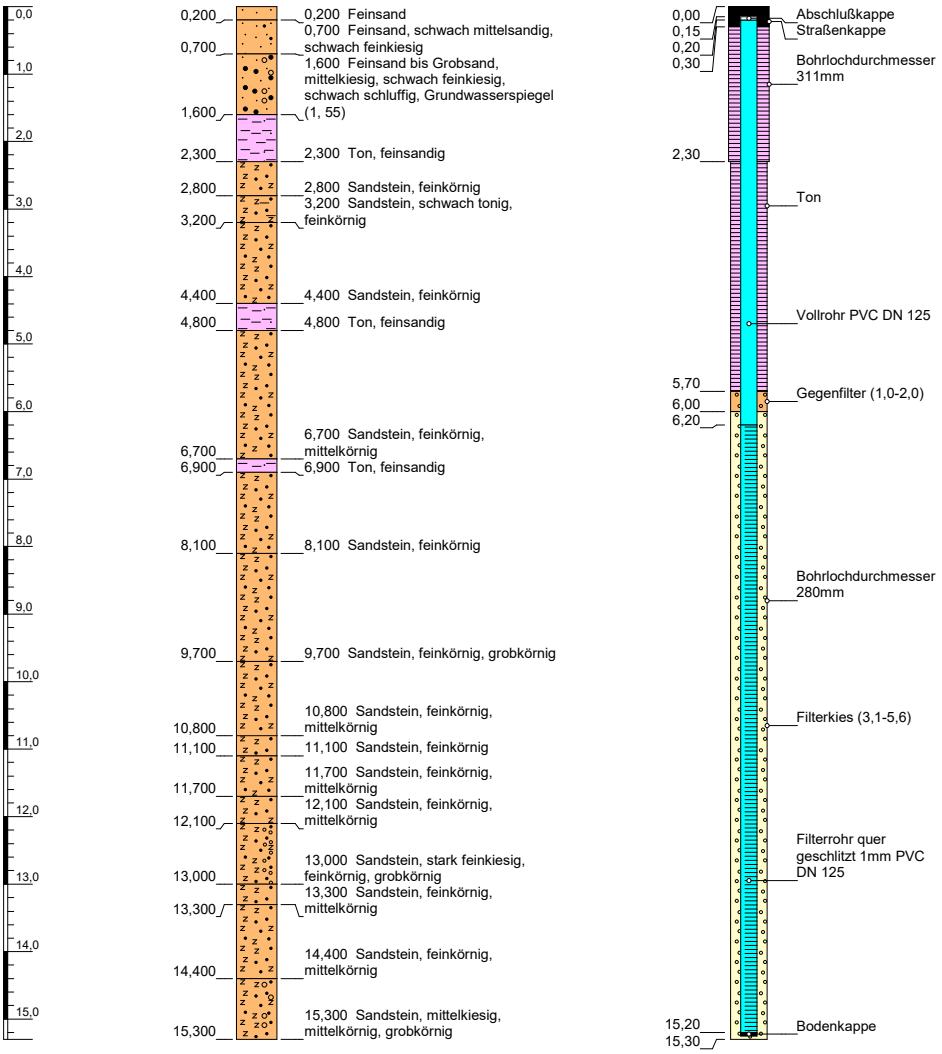


Abbildung 26: Bohrprofil und Ausbauplan der Grundwassermessstelle GWM_N0081 in der Nähe des Marienbergweihers *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

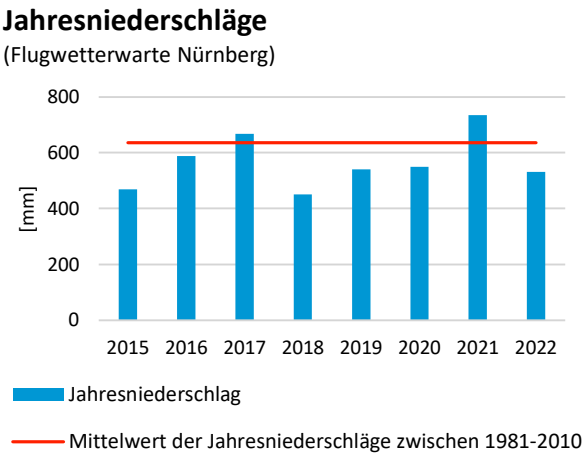


Diagramm 36: Jahresniederschläge der Jahre 2015 bis 2022 an der Flugwetterwarte Nürnberg - Stationsdaten: Deutscher Wetterdienst DWD *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Bei einem Vergleich der Jahresniederschlagswerte der vergangenen Jahre mit dem langjährigen durchschnittlichen mittleren Jahres-Niederschlag aus den Jahren 1981-2010 am Flughafen Nürnberg von 637 mm [96] wird ein vermindertes Wasserdargebot deutlich (vgl. Diagramm 36).

Die Korrelation des Grundwassers mit dem Wasserstand im Weiher (vgl. Diagramm 37) war immer offensichtlich; so war der Wasserspiegel im Frühjahr 2018 (Luftbildbefliegung), nach einem vorausgegangenen Jahr mit leicht überdurchschnittlichen Niederschlägen, wieder nahe der alten Uferlinie.

Bemerkenswert ist der gegenüber dem Grundwasserstand im Pegel GWM_N0081 durchschnittlich gut 30 cm höhere Wasserstand im Weiher.

Vom Servicebetrieb Öffentlicher Raum der Stadt Nürnberg wurden im Jahr 2020 Untersuchungen zur Aufdeckung des alten Drainagesystems unternommen. Dabei konnten 4 Schächte freigelegt werden. Die Schächte waren allesamt intakt und in einem guten Zustand. Der Abfluss über die Drainagesammler (Tonrohre) war in den unteren Schächten stark behindert. Die beiden Schächte waren im März 2020 eingestaut. In einem Pumpversuch konnte dokumentiert werden, dass der Wasserspiegel vom Grundwasser gespeist wird. Eine Absenkung des Wasserspiegels war möglich, wurde jedoch binnen ca. einer Stunde wieder ausgeglichen.

Somit kann als gesichert gelten, dass der Weiher mit dem Grundwasser in Beziehung steht. Sein Wasserspiegel liegt jedoch höher als jener, welcher in der Grundwassermessstelle GWM_N0081 gemessen wird. Hier liegt die Ursache im Ausbau der Messstelle. Die weitere Auswertung zeigt, dass sich der Wasserstand im Weiher in einer etwa sechswöchigen Verschiebung hinter jenen der Grundwasserpegel her bewegt.

Die Komplexität dieser Zusammenhänge lässt keine eindeutige Bewertung der Wirkung einzelner Maßnahmen zu.

Mögliche Maßnahme zur Erhaltung der offenen Wasserfläche

Die Möglichkeiten zum Erhalt der Wasserfläche bei dauerhaft niedrigen Grundwasserständen gliedern sich im Wesentlichen in vier Typen:

1. Erhöhung des Grundwasserstandes
2. Künstliche Abdichtung
3. Absenkung der Gewässersohle unter das niedrige Grundwasserniveau
4. Künstliche Befüllung aus Grund-/Niederschlagswasser

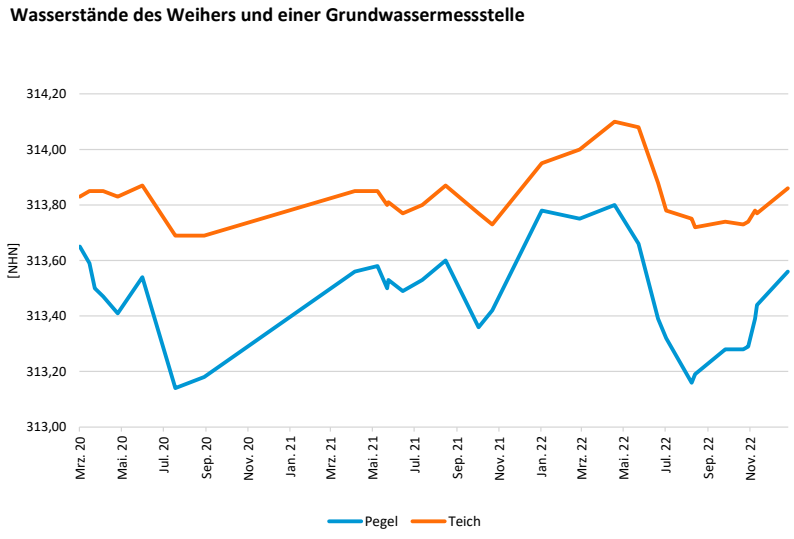


Diagramm 37: Wasserstände der Grundwassermessstelle GWM_N0081 (unten) und im Marienbergweiher (oben) *(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)*

Die fortschreitende Bebauung und Versiegelung im Bereich Großreuth h.d.Veste und Ziegelstein hat sich negativ auf die Grundwasserneubildungsrate ausgewirkt. Allein im Bereich des Flughafens 'Albrecht Dürer' sind ca. 100 Hektar versiegelte Fläche entstanden, die nicht mehr unmittelbar zur Grundwasserneubildung beitragen. Noch stärker gilt dies für die mit Wohnen und Gewerbe bebauten Flächen, die teilweise noch im Mischsystem entwässert werden. Deshalb sind alle Maßnahmen, die Regenwasser wieder dem Grundwasser zuführen, zu begrüßen. Dies ist ein langfristiger Ansatz, der im großen Rahmen verfolgt wird, den Wasserstand im Marienbergweiher aber mittel- bzw. kurzfristig nicht stabilisieren wird.

Die Möglichkeit der künstlichen Abdichtung, eine besonders kostenintensive Variante, scheitert für den Weiher im vorliegenden Fall am Problem des Auftriebs, das die stark schwankenden Grundwasserstände hier mit sich bringen. Es wird wieder längere Niederschlagsphasen geben, die Hochwasser bzw. hohe Grundwasserstände auslösen und den Grundwasserspiegel auch im Marienbergpark, zumindest kurzfristig, wieder deutlich anheben. Zu prüfen wäre jedoch eine Abdichtung der besonders tiefen Stellen im Biotop. Eine solche Abdichtung ist bisher nicht vorhanden. Dies könnte zum Absickern von Wasser ins Grundwasser führen.



Abbildung 27: Biotop des Bund Naturschutz (BN) bei Niedrigwasser im Sommer 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Während die Nutzung von Grundwasser aus tieferen Schichten nicht realistisch erscheint, kann der Förderung von zuvor bereits gesammeltem Niederschlagswasser ein erhebliches Potential bei der Lösung des Problems zugeschrieben werden.

Obwohl derzeit nicht klar ist, in welchem Umfang ein zugeleitetes Wasser im Teich wieder versickern wird, geht der Ansatz jedoch in die richtige Richtung, weil damit der Ursache des Problems (sinkender Grundwasserstand) entgegengewirkt wird. Gerade weil das gesammelte Niederschlagswasser dem Grundwasser fehlt, ist dieser Ansatz zielführend, zumal die bisherigen Untersuchungen darauf hinweisen, dass diese Versickerung langsam vor sich geht.

Die Zuführung von gesammeltem Niederschlagswasser zum natürlichen Wasserkreislauf ist aus ökologischer und wasserwirtschaftlicher Sicht positiv zu beurteilen. Gerade das beschleunigte Ableiten von Oberflächenwasser ist, neben den sinkenden Niederschlagsmengen, ursächlich für das Absinken des Grundwasserspiegels. Eine Rückführung dieses Wassers über den Umweg Marienbergweiher zum Grundwasser würde das Problem nicht nur unmittelbar, sondern auch ursächlich angehen.

Ein Anstieg des Grundwasserspiegels würde sich dabei auch positiv auf das angrenzende Biotop des Bund Naturschutz auswirken.

Ausblick

Unabhängig von einer Entscheidung für bestimmte Maßnahmen, sollte die Stärkung des oberen Grundwasserkörpers im gesamten Bereich durch schrittweisen Rückbau der noch vorhandenen Mischwasserentwässerung sowie den Rückbau der Regenwasserableitungen von Gebäuden und Verkehrsflächen im Einzugsgebiet forciert werden. Langfristig sollte möglichst viel in diesem Bereich anfallendes Regenwasser dem Grundwasser zugeführt werden; dadurch wird die Grundwasserneubildungsrate wieder verbessert.

Als Sofortmaßnahme wurden die Ableitungen der aufgedeckten, alten Drainagesysteme in den freigelegten Schächten in 2020 verschlossen, um den Verlust von Grundwasser über das Drainagesystem in den Wetzendorfer Landgraben zu reduzieren. Inwieweit sich diese Maßnahme bei tiefen Grundwasserständen positiv auswirkt, wird sich in den kommenden Jahren erweisen. Die Auswirkungen werden weiter dokumentiert.

Als weitere Maßnahme wurde im Herbst 2022 eine Beseitigung des beim niedrigen / fehlenden Wasserstand aufgekommenen Aufwuchses im Weiher durchgeführt, um einer Verlandung durch Bildung von Sedimenten entgegen zu wirken. Diese Maßnahme wird in regelmäßigen Abständen wiederholt werden müssen.



Abbildung 28: Aufwuchsbeseitigung in der Wasserfläche zur Verhinderung der Verlandung im Herbst 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)



Abbildung 29: vor der Aufwuchsbeseitigung (links) – wieder freie Wasserfläche (rechts) 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Die Variante der Absenkung der Gewässersohle unter das niedrige Grundwasserniveau ist theoretisch geeignet, kurzfristig das Problem des Trockenfalls des Weihers im Volkspark Marienberg zu beheben, birgt jedoch eine Vielzahl von technischen, rechtlichen und ökologischen Risiken und ist deshalb kritisch zu betrachten, zumal durch die Beseitigung schwach sickerfähiger bzw. bindiger Schichten mit hoher Wahrscheinlichkeit das Problem des sinkenden Wasserstands im Weiher bei Trockenphasen noch weiter verstärkt würde.

Um den Lebensraum insbesondere für die Knoblauchkröte zu erhalten, wäre evtl. eine Eintiefung in Teilbereichen oberhalb von bindigen Schichten denkbar. Um dies näher zu bewerten sind noch umfassende vorbereitende Untersuchungen, insbesondere ein hydrogeologisches Gutachten notwendig.

Eine Überleitung von bereits gesammeltem Niederschlagswasser in den Teich wäre langfristig der Königsweg. Auch wenn das übergeleitete Wasser nach und nach im Teich wieder versickert, wird der Wasserspiegel dadurch auch in Zeiten niedrigen Grundwasserstands deutlich angehoben, weil dieses Absinken zeitlich stark versetzt erfolgt.

Gleichzeitig wirkt sich die Zuführung ins Grundwasser positiv auf die Höhe des Wasserstands aus und gleicht damit die negativen Effekte, welche niedrigen Grundwasserstand hervorrufen, zumindest teilweise aus. Der zu erwartende Effekt rechtfertigt den notwendigen Energie- und Ressourceneinsatz.

Sämtliche Bemühungen zum Erhalt der grundwassergespeisten Lebensräume im Marienbergpark bekommen besondere Bedeutung auch aufgrund des Vorkommens der seltenen Knoblauchkröte (Pelobates fuscus). Die Knoblauchkröte ist eine Charakterart extensiven Offenlandes und der Steppe. Im Stadtgebiet ist sie nur an zwei Stellen bekannt. In Bayern konnte man früher Knoblauchkröten vom Donautal aus nach Norden fast flächendeckend in geeigneten Tieflagen finden. Allerdings scheinen in den letzten 20 Jahren viele der Vorkommen erloschen zu sein.



Abbildung 30: Knoblauchkröte
(Quelle: Harzheim, Mario; piclease)

Knoblauchkröten bevorzugen Sandböden, in die sie sich tagsüber bis gut einen halben Meter, während der Laichzeit aber auch nur wenige Zentimeter tief eingraben können. Die Erdhöhlen werden regelmäßig genutzt und immer wieder ausgebaut. Da der Aktionsradius der Tiere nur 200-400 m rund um das Laichgewässer beträgt, darf dieses nicht weit entfernt sein. Wenn die Bodentemperaturen im Spätherbst unter 3-4 °C sinken, verschwinden die Tiere in Höhlen und Erdgängen, wo sie überwintern.

Das Vorkommen der Knoblauchkröte im Marienbergpark ist aktuell durch sinkende Wasserstände in den Laichgewässern gefährdet. Eine zusätzliche Gefährdung verursacht allerdings auch der hohe Nutzungsdruck in der Parkanlage. Beispielsweise ist die Art insbesondere zur Laichzeit vom zeitigen Frühjahr bis Ende Mai besonders sensibel gegenüber Störungen durch badende Hunde und spielende Kinder in den Weihern, die den Laich zerstören.

2.5 Trinkwasserversorgung der Stadt Nürnberg – Entwicklung in den Wasserschutzgebieten

(N-ERGIE Aktiengesellschaft – Jiri Pavlik)

Bevölkerungsentwicklung, Klimawandel und Trinkwasserbedarf

Die Entwicklung des Trinkwasserbedarfs in der Region ist eng mit der Entwicklung der Stadt Nürnberg verbunden. Wie aus der historischen Entwicklung des Trinkwasserbedarfs in Nürnberg ersichtlich ist, gibt es viele Faktoren, die hier eine nachhaltige Auswirkung zeigen.

Der durchschnittliche Wasserverbrauch pro Person in den Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2021 lag bei ca. 127 Litern pro Tag ([97]).

Seit den 1990er Jahren beobachten wir einen deutlichen Rückgang der Wasserabgabe. Der technische Fortschritt – sowohl bei Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen als auch in betrieblichen Prozessen – führte gemeinsam mit einem geänderten Verbraucherverhalten der Abnehmer zu einer deutlich verringerten Wasserabgabe (vgl. Diagramm 38).

In Nürnberg werden aktuell zwischen 530.000 und 560.000 Menschen mit Trinkwasser versorgt. Der Trinkwasserbedarf der Stadt Nürnberg wird sich voraussichtlich – beginnend bei aktuell gut 33 Mio. m³ pro Jahr – in dem, in der Grafik dargestellten Korridor entwickeln.



Diagramm 38: Historische Entwicklung und Prognose des Trinkwasserbedarfs in Nürnberg *(Quelle: N-ERGIE AG)*

Der Klimawandel bringt steigende Temperaturen und längere Trockenphasen mit sich. Nach den ersten Erfahrungen werden aus heutiger Sicht die Tagesspitzenabgaben vermutlich dennoch nicht wesentlich ansteigen. Zunehmen wird allerdings voraussichtlich die Anzahl der Tage pro Jahr, an welchen sehr hohe Wassermengen sicher zur Verfügung zu stellen sind. Dies zeigte sich zuletzt während der Hitzewelle im Juni und Juli 2022, die mit anhaltender Trockenheit verbunden war. Die Tagesspitzenabgabe im Juli 2022 lag bei knapp 140.000 m³ pro Tag (vgl. Diagramm 39).

Struktur der Wasserversorgung

Die Wasserversorgung von Nürnberg, Schwaig und Behringersdorf ist gut aufgestellt. Die N ERGIE Aktiengesellschaft verfügt über mehrere Wasserwerke mit eigenen Gewinnungen. Darüber hinaus bezieht die N-ERGIE Aktiengesellschaft Trinkwasser vom Zweckverband Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum (WFW).

Mit dem steigenden Wasserbedarf in Nürnberg mussten in der Vergangenheit für eine sichere Wasserversorgung, neben den lokalen Anlagen, auch räumlich weiter entfernt liegende Gewinnungen erschlossen werden.

Das beste Beispiel hierfür ist die in der Fränkischen Schweiz liegende Gewinnung Ranna. Diese wurde bereits im Jahre 1912 errichtet und trägt bis heute mit ca. 40 % zum Wasserdargebot für Nürnberg bei. Das Trinkwasser aus Ranna muss ca. 45 km nach Nürnberg transportiert werden.



Diagramm 39: Trinkwasser - Tagesabgaben in Nürnberg *(Quelle: N-ERGIE AG)*

In den 1960er Jahren ging man von einem weiter steigenden Wasserbedarf aus. Da im wasserarmen nordbayerischen Raum die Gewinnungsmöglichkeiten endlich erschienen, wollte man sich nach Süden orientieren. Deshalb wurde im Jahr 1966 der WFW gegründet. Seit dem Jahr 1973 ist dieser eine wesentliche Stütze der Nürnberger Wasserversorgung. Das Trinkwasser wird von der Gewinnung im Donau-Lech-Delta ganze 100 km transportiert. Der Anteil an der benötigten Trinkwassermenge liegt bei knapp 40 %.

Folglich ist für eine sichere Trinkwasserversorgung die erforderliche Infrastruktur mit den Gewinnungen, Wasserwerken, Hochbehältern und Fernleitungen und der großen räumlichen Verteilung von enormer Bedeutung. Es ist eine gewaltige Herausforderung, den Kund*innen jederzeit die benötigten Trinkwassermengen mit hoher Wasserqualität zur Verfügung zu stellen. Der notwendige Schutz der Wasservorkommen wird durch ausgewiesene Wasserschutzgebiete und durch das Engagement des jeweiligen Wasserversorgungsunternehmens sichergestellt.

Die Weitläufigkeit der Anlagen und deren Anteile an der Wasserversorgungsmenge zeigt Karte 38.



Karte 38: Übersicht Wassergewinnung *(Quelle: N-ERGIE AG)*

Entwicklung in den Wasserschutzgebieten

Allgemein

Weite Teile Nordbayerns sind nach wie vor extrem trocken mit geringen Niederschlagswerten. Die Mehrheit der Grundwassermessstellen in den oberflächennahen und tiefen Grundwasserstockwerken wiesen im Jahr 2022 niedrige und sehr niedrige Grundwasserstände auf.

Witterung

Laut dem Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern (NID [86]), war das Jahr 2022 das wärmste in der 142 jährigen Beobachtungsreihe. Das Niederschlagsdefizit des Kalenderjahres 2022 für Nordbayern gibt der NID mit 95 Litern pro Quadratmeter an. Die Niederschlagssummen des Kalenderjahres 2022 betrug für Nordbayern 708 mm (88 % vom Mittel 1971 bis 2000). Im Jahr 2022 waren in Nordbayern acht der zwölf Monate statistisch zu trocken.

Grundwasser

Für die Grundwasserneubildung sind viele Faktoren relevant. Ein wesentlicher Faktor sind die Niederschläge. Hierbei ist die Grundwasserneubildung im Sommer aufgrund der hohen Verdunstungsrate deutlich niedriger als im Winter mit niedriger Verdunstung. Im Winter kann es allerdings an einigen Tagen bei gefrorenem Boden verknüpft mit starken Niederschlägen oder Tauwetter zu einem Oberflächenabfluss der Niederschläge ohne wesentliche Grundwasserneubildung kommen. Ähnliche Effekte haben auch die zunehmenden Extremwetterereignisse mit dem häufiger vorkommenden Starkregen, der ebenfalls im Wesentlichen auf der Oberfläche abfließt und wenig zur Grundwasserneubildung beiträgt. Positiv gestaltet sich die Grundwasserneubildung aus den bestehenden Oberflächengewässern (Flüsse, Staustufen, Seen).

Die Grundwasserneubildung und der damit verbundene Anstieg der Grundwasserstände finden im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) statt. In Nordbayern fiel im Jahr 2022 ein Teil der Winterniederschläge erst im April und konnte damit nicht mehr maßgeblich zur Grundwasserneubildung beitragen. In Südbayern war das Winterhalbjahr insgesamt zu trocken (s. o.). Auch die folgenden Monate waren in Bayern zu trocken. Deshalb wird in fast ganz Bayern das langjährig mittlere Niveau der Grundwasserstände nicht erreicht.

Aufgrund der zu geringen Niederschläge der letzten Jahre weist die Grundwasserneubildung in Bayern bereits seit 2003, und somit seit nahezu 20 Jahren, ein mittleres jährliches Defizit von rund 16 % auf. Durch die zuletzt gehäuft aufgetretenen Trockenjahre mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen (2015, 2018, 2019, 2020 und 2021) könnte dieses Defizit allenfalls durch ein außergewöhnlich niederschlagsreiches Winterhalbjahr 2022/23 verringert werden. Nähere Informationen sind in den Lageberichten des Niedrigwasserinformationssystems des Bayerischen Landesamts für Umwelt zu finden [86].

Die Entwicklung der Grundwasserstände ist anhand des Diagramm 40 zur Grundwasserstelle Betzenstein exemplarisch nachvollziehbar.

Wasserschutzgebiet Ranna

In Ranna wird das im Karstgebiet vorhandene Grundwasser genutzt. Die Grundwasserentwicklung ist insbesondere bei der Gewinnung Ranna I von Relevanz, da es sich hier um eine Quellfassung handelt. Somit kann hier nur das Wasser genutzt werden, das über eine eingebaute Schwelle selbstständig in das Trinkwassersystem fließt.

Die Grundwassermessstellen liegen wie folgt:

- Die Messstelle PB05 liegt ca. 3,5 km nordwestlich der Fassung Ranna I.
- Die Messstelle PB06 liegt ca. 2,2 km nordöstlich der Fassungen Ranna II.



Diagramm 40: Grundwassermessstelle Betzenstein *(Quelle: Gewässerkundlicher Dienst Bayern)*

Beide Grundwassermessstellen liegen in dem jeweiligen Anstrombereich der Quellfassungen.

Bei beiden Grundwassermessstellen liegen die Grundwasserstände deutlich unter den langjährigen Mittelwerten der letzten 20 Jahre. Bezogen auf die letzten Jahre erfolgte eine nennenswerte Grundwasserneubildung in den Jahren 2018, 2020 und 2021, konnte jedoch die Defizite lediglich etwas aufhalten, aber nicht vollständig ausgleichen (vgl. Diagramm 41).

Wasserschutzgebiet Erlenstegen

Die Grundwasserneubildung im Gewinnungsgebiet Erlenstegen wird positiv durch den Fluss Pegnitz beeinflusst. Aber auch hier sind die Auswirkungen des Klimawandels erkennbar. Die Pegelstände der Pegnitz lagen in den Sommermonaten der letzten Jahre auf einem historisch niedrigen Niveau.

Die Grundwassermessstellen liegen wie folgt:

- Die Messstelle VP01 liegt ca. 0,2 km nördlich der Brunnen und des Wasserwerks Erlenstegen nahe der Bundesstraße 14.
- Die Messstelle EBS23 liegt ca. 0,25 km südlich der Brunnen und der Pegnitz nahe der Ruine Oberbürg.
- Die Messstelle VP04 liegt ca. 0,25 km südlich der Brunnen und der Pegnitz in Richtung Unterbürg.
- Die Messstelle P7M liegt 0,9 km nördlich der Brunnen im Erlenstegener Forst.

Aufgrund der Nähe zum Vorfluter Pegnitz zeigen die Grundwasserspiegel in den Messstellen einen an den Oberflächengewässerwasserspiegel angelehnten Verlauf (vgl. Diagramm 42).

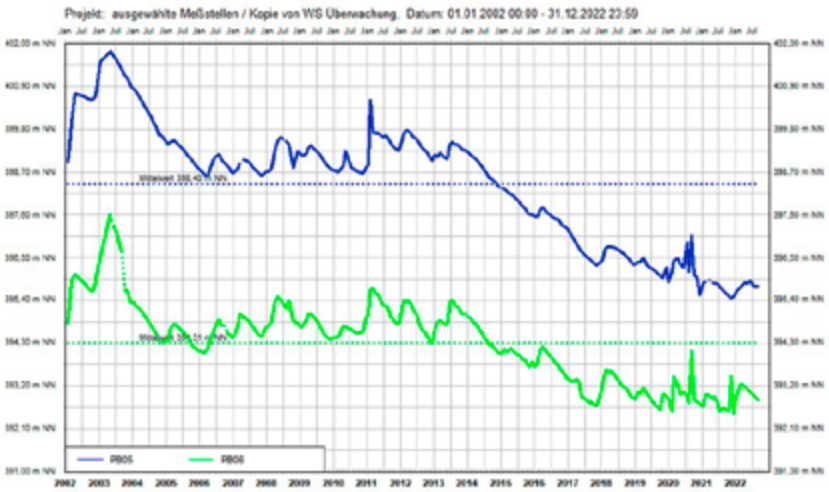


Diagramm 41: Grundwassermessstellen Ranna *(Quelle: N-ERGIE AG)*

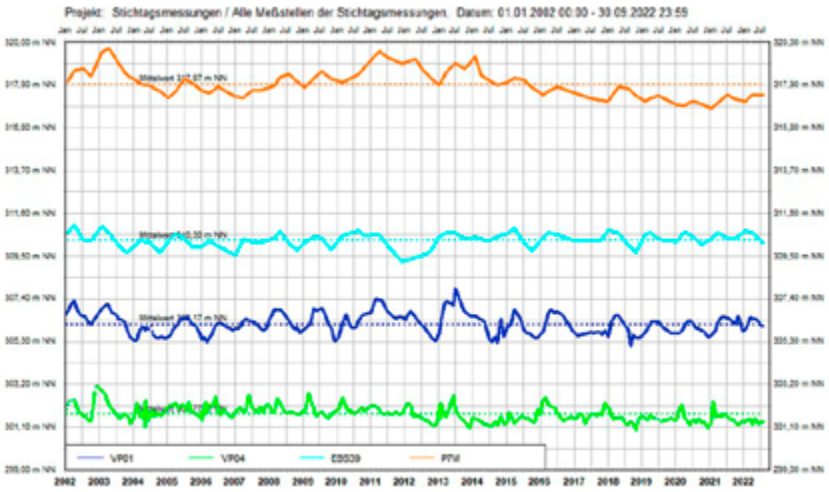


Diagramm 42: Grundwassermessstellen Erlenstegen *(Quelle: N-ERGIE AG)*

Wasserschutzgebiet Genderkingen

Das Gewinnungsgebiet des Zweckverbands Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum (WFW) befindet sich im Flussdelta zwischen Lech und Donau. Hier ist keine wesentliche Beeinflussung durch den Klimawandel erkennbar.

Die Grundwassermessstellen liegen wie folgt:

- Die Messstelle III/1 liegt zwischen dem Vorfluter Donau und nahe dem Horizontalfilterbrunnen 2 und wird durch die Entnahme und durch die Donau beeinflusst.
- Die Messstelle Gpe4 liegt zwischen den Horizontalfilterbrunnen 2 und 1 und wird von der Entnahme und durch die Donau/den Lech beeinflusst.
- Die Messstelle Gpe1 liegt südlich der Brunnen und ist stark durch die Wasserführung des Lechs beeinflusst.

Aufgrund der Nähe zum Vorfluter Donau zeigen die Grundwasserspiegel in den Messstellen einen an den Oberflächengewässerwasserspiegel angelehnten Verlauf. Da der Lech eine ausgeprägtere Stauhaltung hat, sind die Verläufe der Grundwasserspiegel in größerer Entfernung zur Donau gedämpfter (vgl. Diagramm 43). Ergänzend ist auf eine Besonderheit bei der Messstelle III/1, die auf eine künstliche Absenkung des Donauwasserspiegels im Frühsommer 2022 (Baustelle Donaubrücke Bertholdsheim) zurückzuführen ist, hinzuweisen.

Das Wasserdargebot für die drei WFW-Horizontalfilterbrunnen in Genderkingen wird zum überwiegenden Anteil über den Austausch zwischen Grundwasser und Lech bzw. Donau gespeist. Die lokale Grundwasserneubildung aus Niederschlag nimmt nur eine untergeordnete Rolle ein. In längeren Trockenphasen geht dieser Anteil sogar komplett zurück.

Fazit

Die wichtigste Aussage zuerst: Die sichere Trinkwasserversorgung von Nürnberg ist dauerhaft gewährleistet. Dies gilt unvermindert, auch unter Beachtung der oben aufgezeigten niedrigen Grundwasserstände in einigen Gewinnungen. Trinkwasser stellt eine wertvolle Ressource dar, mit der sparsam und mit entsprechender Sorgfalt umgegangen werden muss.

Die Quellschüttung in Ranna und die Förderung des Wasserwerks Ursprung liegen auf historisch niedrigem Niveau. Für die Versorgung von Nürnberg erfolgt der Ausgleich u.a. über einen höheren Bezug beim WFW. Im Wasserwerk des WFW in Genderkingen kann perspektivisch von keiner Einschränkung der Bezugsmenge ausgegangen werden, da die Uferfiltratgewinnungen von einem leistungsstarken Alpenfluss mit lokalen Stauhaltungen profitieren.

Die N-ERGIE Aktiengesellschaft versorgt Nürnberg mit Trinkwasser aus fünf verschiedenen Gewinnungsgebieten. Damit ist eine gute Redundanz gegeben. Den vorhersehbar weiter steigenden Anforderungen an die Trinkwasserqualität begegnet die N-ERGIE Aktiengesellschaft durch eine adäquate Nachrüstung von Aufbereitungsstufen in den Wasserwerken.

Auf die mit dem Klimawandel verbundenen Herausforderungen, wie die historisch niedrigen Grundwasserstände, vermehrte Extremwetterereignisse und die damit verbundene erhöhte Gefahr von Trübungen oder mikrobiellen Verunreinigungen des zur Trinkwasserversorgung genutzten Rohwassers, ist die N-ERGIE Aktiengesellschaft bestens gewappnet. Die Folgen des Klimawandels werden zunehmend spürbar und weitere technische Maßnahmen zur Erhöhung der Klimaresilienz sind daher wahrscheinlich.

Ganglinien Grundwasserstände WFW vom 20.07.2023

Wasserstände [m NN]

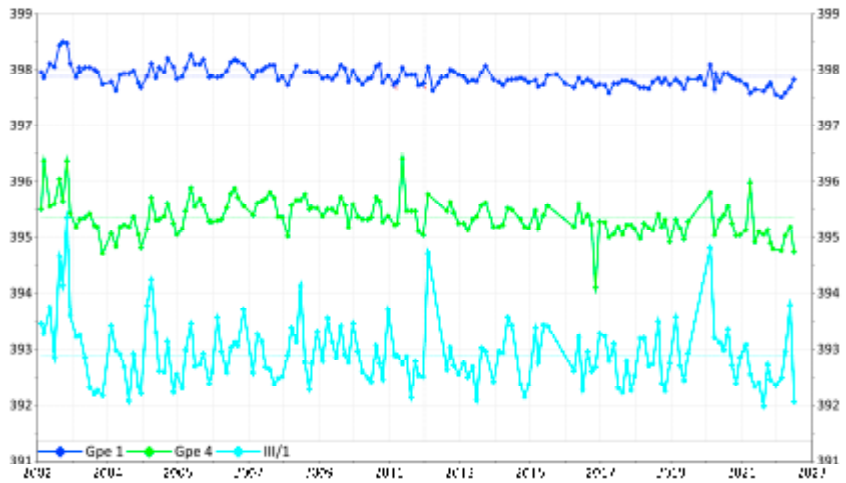


Diagramm 43: Grundwassermessstellen Erlenstegen *(Quelle: N-ERGIE AG)*

2.6 Nachhaltigkeit bei betrieblichen und landwirtschaftlichen Gewässerbenutzungen

2.6.1 Grundwasserschutz in der wasserrechtlichen Genehmigungspraxis

Genehmigung von Gewässerbenutzungen – wasserrechtliche Rahmenbedingungen

Wasser muss als Grundlage allen Lebens auf der Erde geschützt werden. Auch der Gesetzgeber hat dies schon lange erkannt und hat diverse rechtlichen Regelungen getroffen, die dafür Sorge tragen sollen, dass die vorhandenen Gewässer durch den Menschen nicht negativ beeinträchtigt bzw. idealerweise in ihrem Zustand verbessert werden.

Diese Regelungen finden sich insbesondere im Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) und dem Bayerischen Wassergesetz (BayWG). Solche Regelungen haben nur Sinn und Effekt, wenn sie auch beachtet und durchgesetzt werden. Der Vollzug wasserrechtlicher Regelungen obliegt in Bayern weitestgehend den Kreisverwaltungen als Unteren Wasserrechtsbehörden. In Nürnberg ist dies die entsprechende Abteilung des Umweltamtes.

Das Umweltamt ist also als Untere Wasserrechtsbehörde für den Vollzug wasserrechtlicher Regelungen verantwortlich und muss in dieser Funktion mit dafür Sorge tragen, dass in Nürnberg befindliche Gewässer (auch das Grundwasser ist ein Gewässer im Sinne des Wasserrechts) nachhaltig bewirtschaftet und so als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut geschützt werden (vgl. § 1 WHG).

Da Gewässer in Deutschland (anders als beispielsweise im angelsächsischen Raum) nicht eigentumsfähig sind, darf man, selbst als Grundstückseigentümer, nicht frei über das Grundwasser verfügen. Vielmehr bedarf jede Benutzung des Grundwassers einer Erlaubnis durch die Untere Wasserrechtsbehörde. Grundwasser darf also nicht ohne weiteres entnommen, zutagegefördert, zutagegeleitet oder abgeleitet werden. Ebenso wenig dürfen Stoffe in das Grundwasser eingebracht oder eingeleitet werden. Solche Gewässerbenutzungen sind grundsätzlich untersagt. Erst durch die notwendige Erlaubnis werden sie legitimiert (sog. repressives Verbot mit Erlaubnisvorbehalt).

Einige Gewässerbenutzungen von wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung wurden von dieser Erlaubnispflicht ausgenommen. So ist beispielsweise das Zutagefördern von Grundwasser für den Haushalt erlaubnisfrei soweit keine signifikanten nachteiligen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu besorgen sind (vgl. § 46 WHG). Grundsätzlich sind Benutzungen des Grundwassers aber erlaubnispflichtig (vgl. § 8 WHG).

Grundlagen einer wasserrechtlichen Genehmigung

Um eine solche Erlaubnis zu erlangen, ist ein entsprechender Antrag beim Umweltamt der Stadt Nürnberg zu stellen. Der notwendige Inhalt und Umfang der Antragsunterlagen hängt von der jeweiligen Art der Gewässerbenutzung ab. Auf der Internetseite des Umweltamtes sind hier zu den gängigsten Benutzungen entsprechende Erläuterungen und Vordrucke zu finden [98].

Das Umweltamt prüft nach Eingang eines Antrags in einem Verwaltungsverfahren, ob die beantragte Gewässerbenutzung den gesetzlichen Vorschriften entspricht. Der Gesetzgeber stellt zahlreiche Anforderungen, die erfüllt werden müssen, um sicherzustellen, dass eine Gewässerbenutzung nachhaltig und unschädlich ist. Lässt sich die Einhaltung dieser Anforderungen anhand der vorgelegten Antragsunterlagen nicht beurteilen, so sind sie entsprechend zu ergänzen.

Da die Anforderungen, die erfüllt werden müssen, um eine Erlaubnis zur Benutzung des Grundwassers zu erlangen sehr zahlreich sind, seien hier beispielhaft nur die wichtigsten erwähnt. Eine Grundwasserbenutzung ist nur erlaubnisfähig, wenn

- durch sie nachteilige Veränderungen der Gewässereigenschaften nicht zu erwarten sind und
- das Wasser sparsam verwendet wird und die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts durch die Benutzung nicht sinkt.
- Eine Verschlechterung des mengenmäßigen und chemischen Zustands des Grundwassers muss vermieden werden und alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten sollen umgekehrt werden.
- Ein guter mengenmäßiger und chemischer Zustand des Grundwassers sollen erhalten oder erreicht werden.

Wenn diese Voraussetzungen nicht erfüllt sind, so ist eine beantragte Erlaubnis auf Gewässerbenutzung grundsätzlich zu versagen (vgl. § 12 WHG).

Beurteilung der Nachhaltigkeit und Rechtmäßigkeit einer Gewässerbenutzung

Um zu beurteilen, ob eine Gewässerbenutzung den geltenden rechtlichen und fachlichen Anforderungen entspricht und um über entsprechende Anträge entscheiden zu können, bedient sich das Umweltamt im Erlaubnisverfahren dem Fachwissen diverser Fachbehörden. Jeder Antrag auf Erlaubnis wird vor der Entscheidung über die Erteilung der Erlaubnis von einem amtlichen Sachverständigen begutachtet. Regelmäßig fungieren das staatliche Wasserwirtschaftsamt Nürnberg oder die fachkundige Stelle für Wasserwirtschaft der Stadt Nürnberg in entsprechenden wasserrechtlichen Verfahren als amtliche Sachverständige.

In einem Gutachten legt der amtliche Sachverständige dar, ob die beantragte Grundwasserbenutzung den rechtlichen und fachlichen Vorgaben entspricht und somit gestattungsfähig ist. Im Falle einer positiven Begutachtung liegt die Erteilung der Erlaubnis dann im Ermessen des Umweltamtes als Untere Wasserrechtsbehörde. Regelmäßig folgt das Umweltamt dabei der Beurteilung des amtlichen Sachverständigen.

In aller Regel ist mittels eines Pumpversuches zu eruieren, ob die beantragte Fördermenge nachhaltig und ohne Beeinträchtigung Dritter gefördert werden kann.

Bei komplexen Anträgen und/oder hohen Entnahmemengen ist zusätzlich ein hydrogeologisches Fachgutachten erforderlich, in dem detaillierte Betrachtungen und Untersuchungen zum Grundwasservorkommen ausgearbeitet werden (u.a. mit Angaben zur Beurteilung und Interpretation von geologischen Verhältnissen, Grundwasserströmungsverhältnissen, Wasserbeschaffenheit, hydraulischen Kenndaten des Grundwasserleiters). In diesem Fall ist ein entsprechendes Fachbüro beizuziehen.

Anforderungen an Anlagen zur Gewässerbenutzung

Erlaubnisse können mit Inhalts- und Nebenstimmungen versehen werden, um nachteilige Auswirkungen einer Gewässerbenutzung zu vermeiden oder auszugleichen (vgl. § 13 WHG). Von dieser Möglichkeit wird auch regelmäßig Gebrauch gemacht. Erlaubnisse für Gewässerbenutzungen sind meist mit zahlreichen Inhalts- und Nebenbestimmungen verbunden.

So werden Erlaubnisse meist zeitlich befristet. Nach Ablauf der Frist muss eine Erlaubnis dann, sofern die Gewässerbenutzung auch weiterhin stattfinden soll, neu beantragt und entsprechend gemäß den dann geltenden Maßstäben neu beurteilt werden.

Bei Grundwasserentnahmen durch Brunnenanlagen werden zudem diverse technische Anforderungen an den Bau der Brunnenanlage und die verwendeten Materialien gestellt. Außerdem wird festgelegt zu welchem Zweck, in welcher Menge und mit welcher Förderrate das Grundwasser abgeleitet werden darf. Bei Bedarf werden auch regelmäßige Untersuchungen der Grundwasserqualität gefordert. Der Betreiber wird verpflichtet die Entnahmemenge mittels entsprechender Einrichtungen zu messen und dem Umweltamt die jeweiligen Daten regelmäßig zu übermitteln. Bei Bewässerungsbrunnen wird regelmäßig zur Auflage gemacht, dass, um Verdunstungsverluste zu vermeiden, in den Morgen- und Abendstunden bewässert werden soll.

Bei Einleitungen in das Grundwasser wird in der Erlaubnis festgelegt, welche Stoffe in welcher Menge und Qualität in das Grundwasser eingebracht werden dürfen. Bei Versickerungsanlagen wird beispielsweise definiert welche Flächen an eine Anlage angeschlossen werden dürfen, wie die Anlage dimensioniert werden muss und ob und ggf. welche Vorreinigungsanlagen installiert und betrieben werden müssen. Bei Geothermie-Anlagen wird festgelegt, wie viele Sonden mit welcher Technik in welcher Tiefe in das Grundwasser eingebracht werden dürfen.

Grundsätzlich ist jede Inhalts- und Nebenbestimmung statthaft, die notwendig ist, um zu gewährleisten, dass die Gewässerbenutzung möglichst unschädlich und nachhaltig stattfindet.

Abnahme und Überwachung

Um sicherzustellen, dass Gewässerbenutzungsanlagen dann auch gemäß den Antragsunterlagen und den Inhalts- und Nebenbestimmungen im Erlaubnisbescheid errichtet und betrieben werden, sind diese baubegleitend durch einen Privaten Sachverständigen der Wasserwirtschaft (PSW) abzunehmen (vgl. Art. 61 BayWG). Ergeben sich bei der Abnahme Abweichungen von der Erlaubnis, so wird geprüft, ob die Abweichungen unschädlich und somit vertretbar sind oder evtl. entsprechende Nachbesserungen angeordnet werden müssen.

Nach Erteilung einer Erlaubnis finden durch das Umweltamt Kontrollen statt, ob die Gewässerbenutzungen im Rahmen der Erlaubnis stattfinden. Bei Verstößen oder Missständen wird der Gewässerbenutzer aufgefordert diese abzustellen. Bei Bedarf können hier auch entsprechende Anordnungen und Zwangsmittel (z. B. Zwangsgeld) angewandt werden.

Bestehende Genehmigungen werden regelmäßig überprüft. Nötigenfalls kann durch nachträgliche Inhalts- und Nebenbestimmungen sichergestellt werden, dass evtl. seit der Erteilung einer Erlaubnis hinzugetretene Anforderungen umgesetzt werden. Erlaubnisse können nach Bedarf auch widerrufen werden.

Werden dem Umweltamt unerlaubte Gewässerbenutzungen bekannt, so wird der Gewässerbenutzer aufgefordert die Gewässerbenutzung einzustellen und eine entsprechen-

de Erlaubnis zu beantragen. Wird einer solchen Aufforderungen nicht gefolgt, so können auch hier die notwendigen Maßnahmen angeordnet und soweit notwendig mit den Mitteln des Verwaltungszwanges durchgesetzt werden (vgl. § 100 WHG).

Verstöße gegen bestehende Erlaubnisse oder unerlaubte Gewässerbenutzungen stellen zudem Ordnungswidrigkeiten dar, die mit einem Bußgeld belegt werden können.

Es gibt zahlreiche rechtliche und fachliche Anforderungen, die den Zweck haben das Grundwasser zu schützen und ähnlich zahlreiche verwaltungsrechtliche Mittel die Einhaltung dieser Anforderungen sicherzustellen. Dem Umweltamt der Stadt Nürnberg kommt als Untere Wasserrechtsbehörde hier die Verantwortung zu, durch den Vollzug der entsprechenden Rechtsgrundlagen möglichst umfassend sicherzustellen, dass diese Anforderungen in der Praxis auch tatsächlich eingehalten und beachtet werden. Ziel ist, durch Beratung, Aufklärung, Kontrolle und Durchführung entsprechender Genehmigungs-, Anordnungs- und Ordnungswidrigkeitenverfahren mit Hilfe insbesondere des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers in Nürnberg zu gewährleisten.

Ausblick / künftige Entwicklungen

Die zahlreichen Herausforderungen des Klimawandels finden auch Niederschlag in wasserrechtlichen Verfahren. Ein sparsamer Umgang und eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen ist geboten. Bei Genehmigungen zur Gewässerbenutzung ist es besonders wichtig, dass ein Ausgleich zwischen widerstrebenden Zielstellungen der einzelnen Handlungsfelder und Nutzungsformen hergestellt wird [52].

In der Vollzugspraxis werden daher die Anträge auf Erlaubnisse für Grundwasserentnahmen künftig kritischer begutachtet werden müssen, um sicherzustellen, dass Grundwasserentnahmen nicht zu einer erheblichen negativen Beeinträchtigung des Grundwasserhaushalts führen. Die Antragstellenden werden daher regelmäßig umfangreichere Angaben und Nachweise vorlegen müssen, um die Auswirkungen der begehrten Grundwasserentnahme darzustellen und so den Fachbehörden eine Begutachtung zu ermöglichen.

Unter anderem ist eine genaue Bedarfsermittlung und eine Alternativenbetrachtung vorzulegen. Dargelegt werden muss z.B. inwieweit eine Niederschlagswassernutzung bzw. Maßnahmen der Wasserkreislaufwirtschaft bei der Bedarfsermittlung berücksichtigt sind.

Sowohl bzgl. der Entnahmemengen, als auch bzgl. der Laufzeit der Erlaubnisse wird eine genauere Prüfung bezogen auf die vorgesehene Nutzung und das jeweilige wasserwirtschaftliche Umfeld stattfinden. Dies wird voraussichtlich dazu führen, dass die Laufzeiten der Erlaubnisse regelmäßig deutlich kürzer sein werden als dies bisher üblich war (bisher waren hier pauschal 20 Jahre gängige Praxis).

Auch bzgl. der maximal zulässigen Entnahmemengen werden künftig strengere Maßstäbe gelten, so dass entsprechenden Anträgen nicht immer in vollem Umfang entsprochen werden wird. Die Anforderungen an gutachterliche Untersuchungen zur nachhaltigen Grundwasserförderung sowie hinsichtlich begleitender Untersuchungen steigen weiter an.

Grundwasserentnahmen aus dem Tiefengrundwasser zur Brauchwassernutzung sind in aller Regel nicht genehmigungsfähig. Noch geltende Erlaubnisse für bestehende Tiefbrunnenanlagen haben zunächst Bestandsschutz. Nach Ablauf der Erlaubnisfrist müssen jedoch für jeden Einzelfall die Verhältnisse genauestens geprüft werden.

2.6.2 Herausforderungen für die Bewässerung des Knoblauchslandes (Wasserverband Knoblauchsland – Stefan Dunger)

Der Wasserverband Knoblauchsland

Das Knoblauchsland im Städtedreieck Nürnberg-Fürth-Erlangen sichert seit Generationen die regionale Versorgung mit frischem Gemüse. In einem Gebiet mit ca. 2.000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche werden etwa 1.500 ha als reine Gemüseanbaufläche bewirtschaftet. Die leichten, sandigen Böden sind hervorragend für den Gemüsebau geeignet, bedürfen jedoch einer zusätzlichen Beregnung. Vom Wasserverband aus werden hierzu 931 ha mit Beregnungswasser versorgt. Durch die Beregnung kann der kontrollierte, integrierte Anbau von Gemüse auch in Verbindung mit dem Erhalt und Verbesserung der Bodenstruktur vollzogen werden.

Die Verwaltungsstruktur des Verbandes besteht aus dem geschäftsführenden Verbandsvorsteher, einer Vorstandschaft bestehend aus 7 Vorstandsmitgliedern. Diesem unterstehen 45 Abteilungsvorsteher und 45 Regenwarte, welche sich in den Beregnungsabteilungen um die Abläufe kümmern. Die Verwaltung sowie die technische Betriebsführung werden durch 5 hauptamtliche Angestellte vollzogen, alle anderen Positionen sind Ehrenämter.

Die technische Struktur des Verbands besteht aus einer Brunnenfassung mit 12 Brunnen im Wiesengrund Fürth (Kapellenruh). Die Leistungsfähigkeit der Brunnenanlage beträgt bis zu 600 l/s. Die Hauptleitung (DN600) zum Befüllen der Hochbehälter (je 6000 m³ Fassungsvermögen, Planendächer vermeiden Verschmutzung und Algenbildung) verläuft quer durch das Verbandsgebiet (Kapellenruh bis Almoshof). Sechs Druckpumpwerke mit einer Leistung von bis zu 1200 m³/h speisen über ca. 150 km Druckrohrleitungsnetz und ca. 1500 Hydranten, an denen die Betriebe Beregnungswasser entnehmen können. Die Steuerung des gesamten Systems erfolgt über ein Prozessleitsystem.



Abbildung 31: Rohrberegnung im Knoblauchsland *(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)*



Abbildung 32: Ansicht Hochbehälter Buch *(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)*

Entwicklung des Bewässerungsbedarfs – Auswirkungen des Klimawandels

Mit der Gründung des Verbandes im Jahr 1960 begann eine kontinuierliche Entwicklung der Bewässerung im Knoblauchsland. Im ersten Bauabschnitt wurden bis 1972 380 Hektar Beregnungsfläche erschlossen, mit einer mittleren Wasserförderung von etwa 1750 m³/ha/Jahr. Im zweiten Bauabschnitt wurde die Beregnungsfläche auf 560 Hektar erweitert und der Wasserbedarf erhöhte sich auf durchschnittlich 2.065 m³/ha/Jahr. Durch die Umstellung der Wasserförderung von Grundwasser auf Uferfiltrat (Projekt zur Beileitung von Beregnungswasser aus dem Regnitztal [49] [12]) und die damit verbundene komplette Erneuerung der Technik konnte die Bewässerungsfläche weiter ausgebaut werden und eine optimale Wasserversorgung der Pflanzen sichergestellt werden. So konnten ab dem Jahr 2004 830 Hektar Beregnungsfläche versorgt werden. Diese erweiterte sich bis heute auf 930 Hektar und der durchschnittliche Bedarf entwickelte sich auf 2.740 m³/ha/Jahr (vgl. Diagramm 44).

Gründe für die Entwicklung des Wasserbedarfs

Vor der Erneuerung war die Anlagenkapazität begrenzend. Dies zeigt der gestiegene Wasserbedarf nach der Umstellung. Erstmals war es möglich, zur richtigen Zeit, die richtige Menge an Beregnungswasser zu geben. Die optimale Bewässerung sichert nicht nur Qualität und Erträge, sondern sie sorgt auch dafür, dass die Nährstoffe von den Pflanzen optimal aufgenommen werden. Nicht vermarktungsfähige Pflanzen reduzieren sich und dadurch auch der Eintrag von z.B. Nitrat in den Boden. Zusätzlich zur optimalen Versorgung der Pflanzen ermöglichte die Umstellung auch das Umlegen von Beregnungsflächen während der Saison, was zu einem weiteren Anstieg des Bedarfs führte. So ist es nun möglich, variabler Flächen in das Beregnungskonzept einzubinden und z.B. im Frühjahr das Flurstück A zu bewässern und im Sommer das Flurstück B – während zuvor wegen der dezentralen Struktur die Beregnung im relevanten Beregnungszeitraum z.B. auf nur einem der beiden Flurstücke möglich war. So erhöht sich indirekt die zu bewässernde Fläche. Der große Vorteil ist, dass die Fruchtfolge effektiver und flexibler gestaltet werden kann. Notwendig ist dies, um den Bedarf an frischem Gemüse zu decken und gleichzeitig die Kulturen und die damit verbundene Bodengesundheit zu erhalten. Nicht außer Acht zu lassen ist auch die längere Saison des Anbaus. Diese ist zum einen dem Klimawandel geschuldet und zum anderen sind die Techniken zur Kulturverfrühung immer besser geworden. So beginnt die Beregnungssaison heute bereits im Februar und endet im November.

Auswirkungen des Klimawandels

Durch die Beregnung soll das Wasserdefizit der Pflanzen ausgeglichen werden, um ein gesundes Wachstum zu ermöglichen. Hier spielen verschiedene Faktoren eine Rolle:

- Klimatische Bedingungen: v.a. wenn die Umgebungstemperatur hoch und die Luftfeuchtigkeit niedrig ist,
- Bodenart und – Struktur: unterschiedliche Bodenarten haben unterschiedliche Fähigkeiten Wasser zu speichern und abzugeben,
- Standort und Exposition: Pflanzen, die an einem sonnigen Standort wachsen oder starkem Wind ausgesetzt sind, können aufgrund erhöhter Verdunstungsraten einen höheren Wasserbedarf haben.

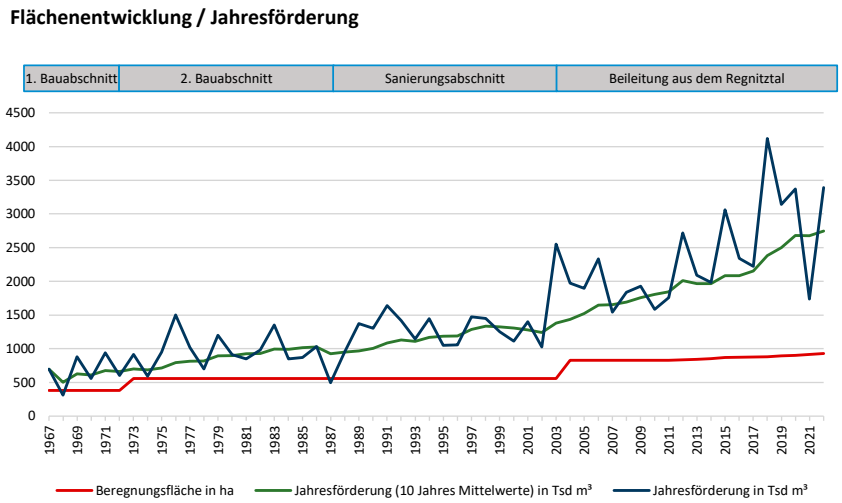


Diagramm 44: Entwicklung bei den Beregnungsflächen und der Jahresförderung *(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)*

Wasserförderung Knoblauchsland in Relation zu Jahresmitteltemperaturen

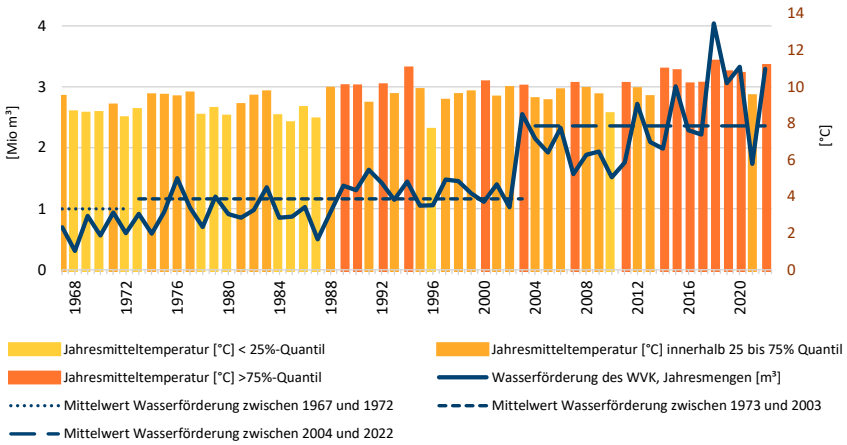


Diagramm 45: Wasserförderung des Wasserverbandes Knoblauchsland (WVK) in Relation zur Jahresmitteltemperatur *(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)*

Wasserförderung des WVK in Relation zu Jahresniederschlägen

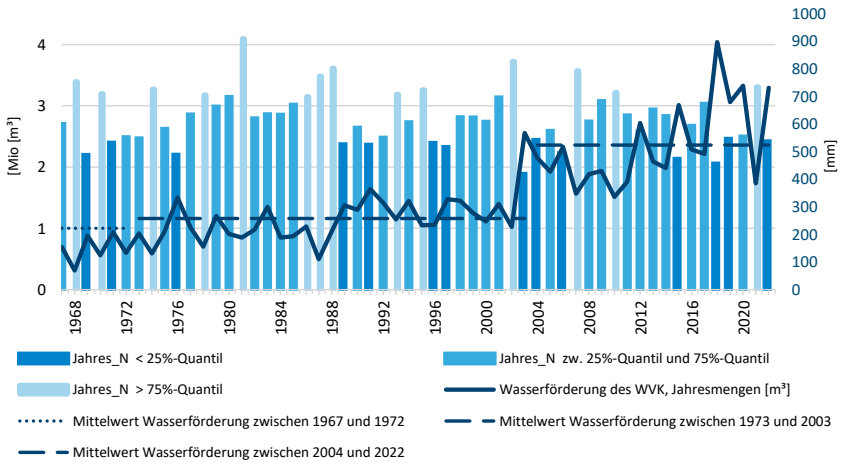


Diagramm 46: Wasserförderung des Wasserverbandes Knoblauchsland (WVK) in Relation zum Jahresniederschlag *(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)*

Betrachtet man die Jahresmitteltemperatur und die Jahresniederschläge im Knoblauchsland (vgl. Diagramm 45 und 46), ist zu erkennen, dass diese zwar Einfluss auf den Wasserbedarf der Pflanzen haben. Jedoch am deutlichsten zeigt sich, dass die anhaltenden Trockenperioden den größten Einfluss haben.

Dies zeigte sich v.a. in den Jahren 2018, 2020 und 2022:

- Im Jahr 2018 fielen gesamt 450 l/m² (450 mm) Niederschlag, jedoch entfielen auf den Zeitraum 22.07.2018 bis 22.09.2018 (62 Tage) gerade einmal 19,8 l/m² des natürlichen Niederschlages.
- Im Jahr 2020 fielen gesamt 548,8 l/m² Niederschlag, jedoch hier auf den Zeitraum 20.06.2020 bis 27.08.2020 (68 Tage) lediglich 57,4 mm.
- Bisher am prägendsten war das Jahr 2022, hier fielen gesamt 531,3 l/m² Niederschlag, vom 04.06.2022 bis 26.08.2022 (83 Tage) waren es lediglich 15,1 l/m² des natürlichen Niederschlags.

Daraus wird deutlich, warum in den Jahren 2018, 2020 und 2022 der Zusatzwasserbedarf stark angestiegen ist (vgl. Diagramm 47).

Die großen Veränderungen der Niederschlags- und Wettercharakteristik haben auch negative Auswirkungen auf das Nährstoffmanagement, wie die Nitratwerte im Grundwasser zeigen, die nach Inbetriebnahme der Beileitung zunächst einen positiven Trend zeigten, mit den sich häufenden Trockenjahren aber nun auf einem noch zu hohen Niveau beharren. Letztlich soll bei der Beregnung nur so viel Zusatzwasser gegeben

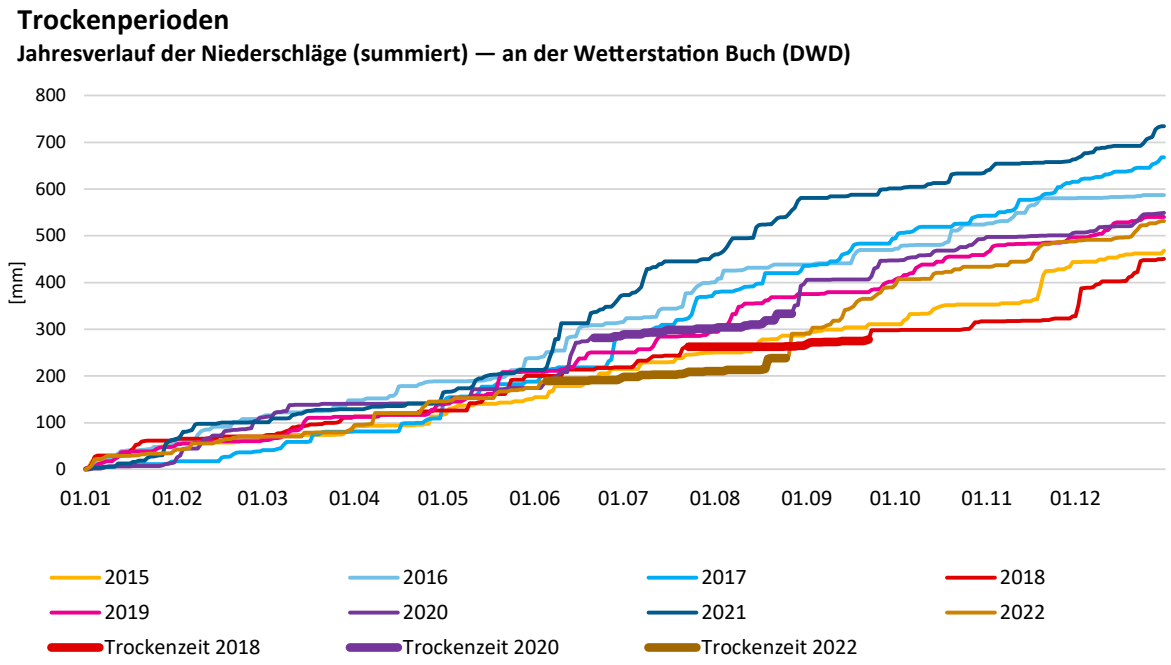


Diagramm 47: lange Trockenperioden in der Niederschlagsentwicklung der verschiedenen Jahre; tägliche Niederschlagsdaten aufsummiert, Niederschlagsdaten an der Flugwetterwarte, Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) *(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)*

werden, dass eine Sickerwasserbildung nicht entsteht. Somit bleiben die Nährstoffe im pflanzenverfügbaren Bereich und können hier dann von der Pflanze aufgenommen werden.

Der Beharrungszustand der Nitratbelastungen (vgl. Kapitel 1.1.4) kann verschiedene Gründe haben, unter anderem hat das Wasser im Knoblauchsland eine relativ lange Verweilzeit im Untergrund, so kann die Nitratbelastung nicht vorwiegend von der aktuellen Düngepraxis, sondern auch aus früheren Jahrzehnten kommen. Damals waren z.B. die Düngemittel noch nicht langzeitstabil, vereinzelt können auch noch die Klärschlammanwendungen in der Vergangenheit nachwirken. Heute, bzw. seit Jahrzehnten, arbeiten die Landwirte im Gebiet ganz bewusst an dieser Thematik. So ist es selbstverständlich, Flächen wo immer möglich nicht "schwarz" zu lassen, hier werden Gründüngungen gesät, um Nährstoffe zu halten. Das "Konzept zur Minimierung des Nitrateintrages" ist ein weiterer Baustein (vgl. Kapitel 1.1.7.1). Im Knoblauchsland werden Bodenproben ganz selbstverständlich gezogen, um die benötigte Düngung zu bestimmen.

Nicht optimal bewässerte Kulturen, können die Nährstoffe nicht richtig und nicht in der nötigen Menge aufnehmen. Sie verbleiben dann im Boden und erhöhen somit den Nitrateintrag. Dies zeigt, dass nur das Zusammenspiel zu einem guten Ergebnis führt, alle Parameter müssen aufeinander abgestimmt sein, dann kann weiterhin nachhaltig regionales Gemüse angebaut werden.

Maßnahmen des Wasserverbandes zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser – ein Ausblick

Durch das Projekt zur Wasserbeileitung aus dem Regnitztal wurde bereits ein entscheidender Grundstein für das Knoblauchsland gelegt. Ohne diesen wäre die Zukunft des Gemüseanbaus im Knoblauchsland ungewiss. So ist man jedoch nicht untätig. Das zur Verfügung stehende Wasser muss so optimal wie möglich eingesetzt werden. Hierzu ist der Verband bereits seit einigen Jahren an Projekten beteiligt, welche sich mit der Digitalen Bewässerungssteuerung im Freilandanbau beschäftigen.

Seit dem Jahr 2020 haben der Wasserverband Knoblauchsland und die Paessler AG aus Nürnberg ein gemeinsames Projekt zur Präzisionsbewässerungssteuerung.

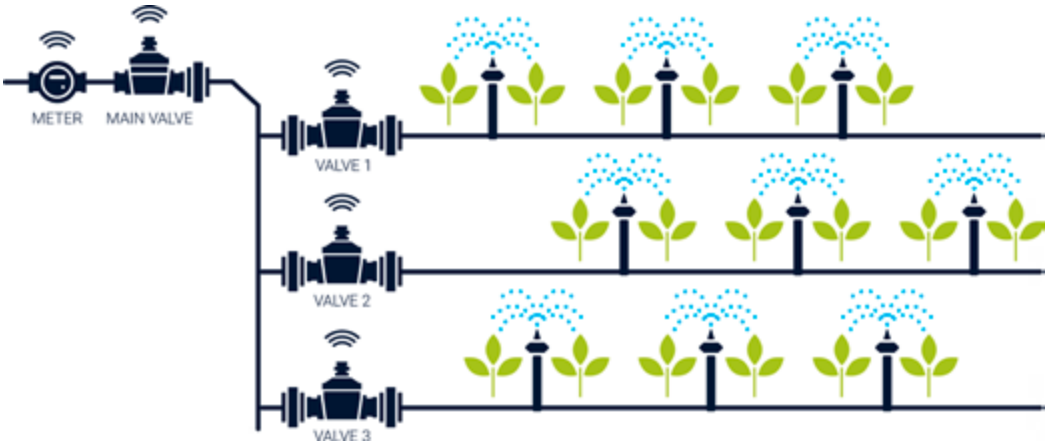


Abbildung 33: Schema der Präzisionsbewässerungssteuerung *(Quelle: Peassler AG)*

Eine effektive Bewässerung ist für die Gesundheit und das Wachstum von Pflanzen und Kulturen von entscheidender Bedeutung. Durch eine präzise Bewässerung können nicht nur die Qualität der angebauten Kulturen verbessert, sondern auch Ressourcen geschont werden. Aus diesem Grund hat sich der Wasserverband Knoblauchsland und die Paessler AG zum Ziel gesetzt, eine intelligente Bewässerungslösung zu entwickeln, die den Bedürfnissen des Wasserverband Knoblauchsland und seinen Mitgliedern entspricht und darüber hinaus das Potenzial hat, nicht nur in ganz Bayern, sondern auch in Deutschland, in Europa und darüber hinaus eingesetzt zu werden.

Das Projekt zur Präzisionsbewässerungssteuerung bietet eine effektive Lösung für die Probleme herkömmlicher Bewässerungssteuerung, die in einer zu geringen Überwachungsmöglichkeit und in der Unvorhersehbarkeit von Wetterbedingungen und Umwelteinflüssen liegen.

Die Lösung basiert auf der langjährigen Erfahrung des Wasserverbandes Knoblauchsland in der Beregnung und der Paessler AG im Bereich Netzwerk-Monitoring sowie Datenerfassung und -analyse. Sie ermöglicht Landwirten und Gartenbauern, ihre Bewässerungssteuerung zu optimieren und den Wasserbedarf äußerst effizient zu gestalten.

Die Comtac AG wurde als ausgewiesener Experte mit der Entwicklung der speziellen Hardware beauftragt. Die entwickelte Hardware ermöglicht eine präzise Steuerung des Wasserflusses, die Erkennung von Leckagen und das Auslesen der Verbräuche der angeschlossenen Wasserzähler.

Wichtig bei der Entwicklung ist die Bedienung vor Ort und das sogenannte Retro Fitting, so können bereits bestehende Komponenten weiter betrieben werden. Durch die Verwendung von Bodensensoren, Wetterdaten und Wettervorhersagen kann die Präzisionsbewässerung auch auf kurzfristige Wetterbedingungen reagieren und die Bewässerung entsprechend anpassen. Dies optimiert die Abstimmung zwischen dem jeweiligen Wasserbedarf der angebauten Pflanzen und der Wassergabe und sorgt damit für eine effektive Bewässerung.

Durch die Verbandstruktur können Daten zentral eingespeist werden. So kann Messtechnik gemeinsam genutzt, aber auch z.B. das Energiemanagement und die Lastverteilung durch den Verband gesteuert werden.

Das Projekt zur Präzisionsbewässerung ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer noch nachhaltigeren Landwirtschaft und einem noch besseren Umgang mit Ressourcen wie Wasser und Boden.

In Anbetracht der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserversorgung und der steigenden Herausforderungen für die Landwirtschaft und die Gesellschaft müssen innovative Technologien und Lösungen eingesetzt werden, um die Umweltbelastung zu reduzieren und gleichzeitig die Ressourceneffizienz zu erhöhen. Wir sind überzeugt, dass dies ein wichtiger Schritt ist, um eine lebenswerte Zukunft für kommende Generationen zu sichern.

2.6.3 Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Bewässerung im Garten- und Ackerbau

(Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau - Dr. Alexander Dümig)

Einleitung

In Zeiten des Klimawandels mit steigendem Bewässerungsbedarf von z. B. Gemüse und Kartoffeln sollten Optimierungsmöglichkeiten für eine noch effizientere Bewässerung genutzt werden. Zudem kommt es zu einer Verschärfung rechtlicher Regelungen (z. B. Begrenzung der Entnahmemengen, wasserrechtliche Auflagen hinsichtlich ressourcenschonender Bewässerung sowie Bewässerung nur während Morgen- und Abendstunden). Sowohl der LandCare-Bericht wie auch eine Thünen-Studie für Bayern [99] prognostizieren einen steigenden Bewässerungsbedarf bis zum Jahr 2050, auch für landwirtschaftliche Kulturen. Wenn die Niederschläge ausbleiben, ist bei Gemüse eine Vermarktung ohne Beregnung nicht möglich. Bewässerung sichert nicht nur Ertragshöhe und Qualität (wertgebende Inhaltsstoffe), sondern auch die Nährstoffverfügbarkeit. Bereits einfache und kostengünstige Maßnahmen können z.B. die Genauigkeit der Wasserverteilung verbessern. Dadurch lassen sich der Wasserverbrauch und die Kosten senken bei einheitlichem Aufwuchs der Kulturen ohne Einbußen an Ertrag und Qualität. Eine Bewässerung am Abend/Nacht/Morgen mittels programmierbarer Steuergeräte zur automatischen Schaltung von Magnetventilen (Wasser an/aus) begrenzt Verdunstungsverluste. Weiterhin können der Einsatz von Entscheidungshilfen zur Bewässerung „Wann und wieviel bewässern?“, wie eine modellbasierte Bewässerungs-App und digitale Bodenfeuchtesensoren die Effizienz der Bewässerung erhöhen. Diese Möglichkeiten werden im Beitrag kurz vorgestellt. Zunächst sollen verbreitete Bewässerungsverfahren, wie sie auch im Knoblauchsland eingesetzt werden, mit ihren Vor- und Nachteilen skizziert werden.

Verbreitete Bewässerungsverfahren

Das am weitesten verbreitete Bewässerungsverfahren in Bayern und im Knoblauchsland ist die Rohrberegnung, danach folgen der Einsatz von Rollomaten mit Regnereinzug (Starkregner) und Tropfbewässerung (vgl. Abbildung 34). Jede Technik hat ihre Vor- und Nachteile und dennoch ihre Berechtigung.

Sie unterscheiden sich hinsichtlich Effizienz (Wasserverbrauch, Energiebedarf etc.), Genauigkeit der Wasserverteilung, Kosten (Anschaffung, Jahreskosten für Betrieb des Verfahrens), Arbeitsaufwand und Eignung für die Betriebsstruktur (z. B. Schlaggrößen, Kulturen, Wasserreserven).

Die Rohrberegnung wird oft in Kulturen mit kurzer Standzeit und regelmäßigem Bewässerungsbedarf eingesetzt, sie ist in der landwirtschaftlich-gärtnerischen Bewässerung aus nachfolgenden Gründen vorteilhaft:

- sehr variabel einsetzbar und bei vielen Kulturen möglich
- Genauigkeit der Wasserverteilung ist ausreichend gut, wenn die Systemkomponenten aufeinander abgestimmt sind (siehe unten im Text)
- geringe Beregnungsdichte, dadurch auch bei empfindlichen Kulturen u. Neusaaten oder frischen Anpflanzungen mit geringen Wurzeltiefen einsetzbar
- auch für Frostschutzberegnung geeignet (z. B. bei Frühkartoffeln)
- Kühlung der Pflanzen möglich
- sehr nachhaltig, da die Komponenten über Jahrzehnte genutzt werden können



Abbildung 34: Bewässerung mit Rohrberegnung (links), Tropfbewässerung (Mitte) und Rollomat (rechts)
Quelle: linkes Foto: Landesanstalt für Wein- und Gartenbau, A. Dümig; mittleres und rechtes Foto: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.)

Als Nachteile können genannt werden:

- hohe Windanfälligkeit
- hohe Verdunstungsverluste bei hohen Temperaturen
- hoher Arbeitsaufwand für Auf- und Abbau (bei geringem Rohrvorrat)

Ein Rollomat mit Regnereinzug wird oft für Einzelgaben bzw. Kulturen mit weniger häufigen Bewässerungsgaben verwendet, seine Vorteile sind:

- hohe Flexibilität und Mobilität
- eine große Beregnungskapazität
- vergleichsweise geringe Anschaffungskosten

Er zeichnet sich aber auch durch einige Nachteile aus:

- schlechte Wasserverteilung, v. a. bei Wind
- hohe Energiekosten durch hohen Druckbedarf an der Düse
- hohe Beregnungsdichte
- hohe Verdunstungsverluste bei hohen Temperaturen

Die Tropfbewässerung findet oft in Dauerkulturen, oder in Kulturen mit langer Standzeit Anwendung. Sie gewinnt aus mehreren Gründen an Aufmerksamkeit. Wesentliche Vorteile der Tropfbewässerung sind:

- Wasser- und energiesparend (wenn für die Kultur geeignet)
- keine Windabdrift, gute Wasserverteilung
- geringe oder gegen null gehende Verdunstungsverluste (je nach ober- oder unterirdischer Verlegung)
- oberirdische Pflanzenteile sind trocken
- Fertigation (Flüssigdüngung) ist möglich
- seit 2022 Recycling von PE-Einwegschläuchen durch deutschlandweites „ERDE"/Erntekunststoffe-Recycling

Nachteile der Tröpfchenbewässerung:

- Leckagen (Drahtwürmer, Wild- und Vogelverbiss) teils schwer detektierbar
- Verlege und Bergetechnik nicht für jede Kultur geeignet
- keine Kühlung des Pflanzenbestandes möglich
- Spülwasserverluste zum Spülen der Filter bei nicht sauberem Wasser
- Kosten / Nutzen für kurze Kulturstandzeit sind nicht im Verhältnis
- mechanische Unkrautbekämpfung ist schwierig

Fazit: Es gibt nicht „die" eine perfekte Beregnungstechnik, jede Technik hat seine Einsatzfelder und somit seine Berechtigung. Eines haben alle gemeinsam, mit gut aufeinander abgestimmten Komponenten sind sie am effektivsten. Ziel ist es immer den Wasserverlust im Boden auszugleichen, um die Kulturen bedarfsgerecht mit Wasser zu versorgen.

Entscheidungshilfen zur Bewässerung

Zur Entscheidungsfindung „wann und wieviel bewässern" kann z. B. eine manuelle Spaten- oder Bohrstockprobe zur Beurteilung der Durchfeuchtung im Boden durchgeführt werden. Dies gibt aber nur eine annäherungsweise Momentaufnahme der Bodenfeuchte wieder. Als Kriterium für Bewässerungszeitpunkt und Menge können auch digitale Sensoren eingesetzt werden, welche die Bodenfeuchte/-saugspannung messen (vgl. Abbildung 35). Die Übertragung der Messwerte mittels Mobilfunk- oder den Funktechnologien NB-IoT, LoRa und Sigfox in Intervallen von 15 Minuten bis Stunden (z. T. einstellbar) erfolgt auf eine IOT-Plattform bzw. Web-Anwendung. Von dort können die



Abbildung 35: Einsatz und Einbau von Bodenfeuchtesensoren
(Quelle: Landesanstalt für Wein- und Gartenbau, A. Dümig)

Werte „in Echtzeit“ per Smartphone/PC abgerufen und heruntergeladen werden. Dabei empfiehlt sich, die Sensoren in zwei Tiefenstufen (z. B. 15 cm und 30 cm) auf einem Acker einzubauen, um Informationen und Kontrolle über Sickerwasser und Gefahr der Nitratauswaschung zu erhalten.

Generell lassen sich zwei unterschiedliche Messverfahren unterscheiden. Tensiometer und Watermark-Sensoren, welche die Bodensaugspannung messen (0 – 2.000 hPa), geben den „Aufwand“ für die Pflanze wieder, um dem Boden das Wasser zu entziehen, unabhängig von der Bodenart. Dagegen messen TDR-/FDR-Sensoren (Messung der relativen Dielektrizitätszahl) den Wassergehalt im Boden in Volumen-% (0 – 50/60/100 %). Ob diese Menge auch für die Pflanze verfügbar ist, lässt sich ohne weiteres nicht ableiten, da hierfür die Bodenart bekannt sein muss bzw. die Messwerte in Relation zum pflanzenverfügbaren Wasser gesetzt werden müssen. Generell ist es wichtig einen repräsentativen Standort für Sensoren auszuwählen (z. B. nicht im Vorgewende), damit keine Über- oder Unterbewässerung auf Teilflächen stattfindet.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung von Bodenwasser-Bilanzierungsmodellen ohne Messgeräte/Kabel auf dem Acker. Zum Beispiel berechnet die Bewässerungs-„App“ der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB Bayern) täglich eine Bilanz (mm/Tag) aus „Niederschlag + Bewässerung - Verdunstung - Versickerung“. Wichtige Eingangsparameter für die Bilanzierung sind z. B. die Kulturart, Bodenart bzw. nutzbare Feldkapazität, Pflanzdatum, Durchwurzelungstiefe. Das Wurzelwachstum in die Bodentiefe mit fortschreitender Kulturdauer wird simuliert, woran sich die Höhe der empfohlenen Bewässerungsgaben anpasst. Nach Festlegung des Ackerstandortes (über integriertes Google Map-Fenster) werden die Niederschlagsdaten der nächstgelegenen oder ausgewählten Wetterstation automatisch eingelesen und bei Bewässerungsempfehlungen berücksichtigt. Weiterhin kann der Anwender die maximale Gabe pro Bewässerungsvorgang in mm und das Bewässerungsintervall (z. B. alle 4 Tage) festlegen. Aus all diesen Eingangsdaten berechnet und empfiehlt die „App“ bedarfsgerechte Bewässerungsgaben. Die ALB-„App“ bzw. die Web-Anwendung [100] ist kostenlos und kann auch für die mobile Dokumentation der Bewässerung und von Wasserentnahmen verwendet werden (Datenhoheit bleibt beim Anwender).

Wasserverteilgenauigkeit bei Rohrberegnung

Rohrberegnung ist, wie bereits oben erwähnt, das verbreitetste Verfahren zur Bewässerung im Knoblauchsland bzw. in ganz Bayern. Ein Kriterium zur Beurteilung der Effizienz dieses Verfahrens ist die Genauigkeit der Wasserverteilung. Wird das Wasser homogen auf der Fläche verteilt, sind die Bewässerungszeiten und somit auch die Verdunstungsverluste geringer. Der Wasserverbrauch wird verringert und Kosten gesenkt. Eine gleichmäßige Wasserverteilung erleichtert auch die Standortauswahl für Bodenfeuchte-Sensoren zur Entscheidung über Bewässerungsgaben (Zeitpunkt, Höhe).

Ist aber die Verteilgenauigkeit schlecht (siehe Abbildung 36), werden „nasse“ Standorte mit Sickerwasserbildung und Nitratauswaschung erzeugt, wenn die Wasserspeicher- bzw. Feldkapazität des Bodens überschritten wird. Somit entsteht auch eine bewässerungsbedingte Heterogenität der Gehalte an mineralischem Stickstoff (Nitrat, Ammonium) im Oberboden. Daneben gibt es „trockenere“ Areale mit Wassermangel und langsamer Umsetzung der Dünger bzw. Nährstoffe. Der dadurch bedingte Stickstoff- und Wassermangel kann bewirken, dass Erträge und Qualitäten sinken. Dagegen können die Kosten steigen, da unter Umständen mehr Erntegänge nötig sind.

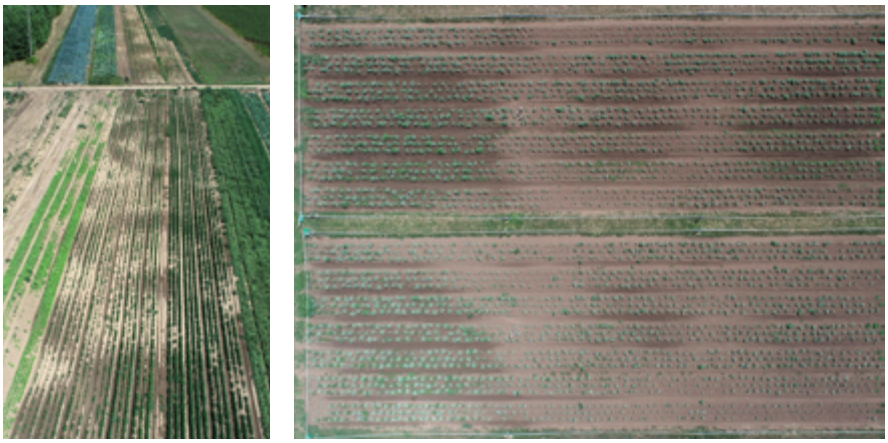


Abbildung 36: Unterschiedliche Abtrocknung des Bodens nach einer Bewässerung mit schlechter Wasserverteilgenauigkeit - Drohnenfotos
(Quelle: Landesanstalt für Wein- und Gartenbau, A. Dümig)

Eine Zusammenfassung von Maßnahmen und Empfehlungen gibt diese Auflistung:

- Verteilgenauigkeit: 12 m x 12 m > 12 m x 18 m > 18 m x 18 m oder 18 m x 22/24 m
- Dreiecksverband hat nicht zwingend eine bessere Verteilgenauigkeit als der Viereckverband
- Wurfweite sollte mindestens so hoch sein wie Kreisregner-Abstände
- Wasserdruck beeinflusst v. a. bei größeren Aufstellverbänden (z. B. 18 m x 24 m) die Verteilgenauigkeit; ist dieser nicht stabil und sinkt, reichen die Wurfweiten nicht mehr aus
- Verwendung von gleichen Regnern mit gleicher Düse im Aufstellverband
- Sorgfalt bei Aufbau des Verbandes (z. B. Regner senkrecht ausrichten, Abstände zwischen Rohrleitungen auf ganzer Strecke einhalten)
- Herstellerangaben zu Kreisregner sollten beachtet werden. Einige Hersteller geben auch Beregnungsdichten je nach Verband, Wasserdruck etc. an, wonach sich die Bewässerungszeiten richten sollten.

2.7 Wassersensible Stadtentwicklung

Insbesondere dicht bebaute Städte, die die Auswirkungen des Klimawandels besonders stark zu spüren bekommen, müssen sich aufgrund der damit verbundenen Herausforderungen „wasserbewusst" weiterentwickeln. Das heißt, das Thema Wasser muss in Anbetracht zunehmender Trockenheit und Hitze sowie Starkregenereignissen und Überflutungsgefahren stärker als bisher in den Fokus der städtischen Planungen genommen werden.

Bis in die 1990er Jahre war die vorherrschende Meinung, dass Niederschlagswasser möglichst schnell über zentrale Ableitungssysteme aus der Stadt entfernt werden muss. Da dies aber vielfältige Nachteile mit sich bringt, wie dem Rückgang der Grundwasserneubildung, ggf. verbunden mit erhöhtem Bewässerungsbedarf, reduzierter Verdunstung, einer Überlastung der Kanalisation bei starken Regenfällen verbunden mit der Gefahr von Gewässerverunreinigungen u.v.m., gab es ein Umdenken.

Die Stadt Nürnberg reagierte Anfang 2000 mit der Einführung des geteilten Gebührenmaßstabs, womit für die Ableitung von Schmutz- und Regenwasser separate Gebühren erhoben werden. Dadurch ist ein finanzieller Anreiz für Grundstückseigentümer geschaffen worden, das Regenwasser nicht in die Kanalisation abzuleiten, sondern vor Ort zu versickern, zu nutzen, zurückzuhalten oder zu speichern. Ebenfalls im Jahr 2000 ist die Europäische Wasserrahmen-Richtlinie (WRRL) in Kraft getreten, mit dem Ziel des Schutzes und der Verbesserung aquatischer Ökosysteme. Seit 2010 regelt außerdem das Wasserhaushaltsgesetz (WHG § 55 (2)), dass mit Niederschlagswasser ortsnah umgegangen werden soll. Hierbei gilt, dass Niederschlagswasser zuallererst vor Ort versickert oder verrieselt werden soll. Wenn dies nicht möglich ist, soll, ggf. gedrosselt, in ein nahegelegenes Gewässer abgeleitet werden. Die Ableitung in die Schmutzwasserkanalisation ist demnach als absolute Ausnahme zu sehen. Die Stadt Nürnberg hat diese damals neue gesetzliche Regelung zum Anlass genommen, im Jahr 2013 jeweils im Umwelt- und Stadtplanungsausschuss einen Beschluss zu fassen, welcher die Erstellung von Niederschlagswasserkonzepten in der Bauleitplanung festlegt [101].

Zunächst wurde beim Umgang mit dem Niederschlagswasser ein Hauptaugenmerk auf die Versickerung gelegt, mit dem Ziel, möglichst viel Regenwasser in den Untergrund abzuleiten, sodass wenig Wasser oberflächlich abfließt oder über die Mischwasserkanalisation abgeführt werden muss. Zudem sollte die Grundwasserneubildung, die durch Bebauung deutlich reduziert ist, wieder gefördert werden.

Da diese Art der Regenwasserbewirtschaftung jedoch den lokalen, natürlichen Wasserhaushalt noch zu wenig berücksichtigt, wird nun seit mittlerweile knapp 10 Jahren verstärkt auf die nötige Berücksichtigung des Wasserhaushaltsfaktors Verdunstung und auf den Bodenwasserspeicher hingewiesen (vgl. auch Grundwasserbericht 2017 Kapitel 1.3.3 [12]).

„Wassersensible Stadtentwicklung ist die Gestaltung bzw. Umgestaltung von bebauten oder geplanten Gebieten mit dem Ziel, vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels, dem Wasser in der Stadt eine zentrale Bedeutung und ausreichenden Raum zu geben", so die Definition der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA [102]). Das bedeutet entsprechend LAWA:

Eine wassersensible Stadt

- verfügt über einen weitestgehend naturnahen Wasserkreislauf, der durch Versickerung, Speicherung und Verdunstung von Regenwasser geprägt ist und so zu einem gesunden Stadtklima beiträgt
- stellt eine nachhaltige Stadtentwässerung sicher und reduziert Überflutungsrisiken,
- ist bestmöglich auf wasserwirtschaftliche Extremsituationen – von Trockenheit bis hin zu extremen Niederschlagsereignissen – vorbereitet,
- schützt Oberflächengewässer und Grundwasser vor nachteiligen Veränderungen und achtet auf den Erhalt der natürlichen Ökosystemleistungen,
- schont ihre Wasserressourcen und sorgt für einen verantwortungsbewussten und sparsamen Umgang mit Wasser und
- verwendet, wo es sinnvoll und möglich ist, in der Stadt Regen- und Betriebswasser anstelle von Trinkwasser.

2.7.1 Versickerung von Niederschlagswasser – Aktueller Stand

Regenwasserbewirtschaftung mittels Versickerungsanlagen

Niederschlagswasser, das von versiegelten Oberflächen, z.B. Dächern, Wegen und Plätzen, abläuft, kann in vielen Fällen gezielt versickert werden. Dies kann abhängig von den hydrogeologischen und sonstigen Voraussetzungen durch verschiedene Maßnahmen realisiert werden:

- Flächenversickerung (Versickerung auf Grünflächen oder unbebauten Flächen)
- Muldenversickerung (Niederschlagswasser wird in eine begrünte Mulde geleitet)
- Mulden – Rigolen – Versickerung (Niederschlag wird in eine Mulde geleitet und dann unterirdisch in einer Rigole zwischengespeichert und von dort langsam an das Erdreich abgegeben)
- Rigolen-Versickerung (das Niederschlagswasser wird i.d.R. nach Vorbehandlung/ Voreinigung direkt in Rigolen geleitet)
- Schachtversickerung (Einleitung in einen Sickerschacht aus Beton oder Kunststoff; nur in Ausnahmefällen einzusetzen)

Ein Versickerungs- oder Niederschlagsmanagementkonzept kann auch eine Kombination von Versickerungsmethoden vorsehen. Die Planung zusätzlicher Maßnahmen zur Regenwasserrückhaltung und Abflussverzögerung (zum Beispiel Dachbegrünung) wird immer empfohlen.

Versickerungsanlagen sind grundsätzlich wasserrechtlich erlaubnispflichtig. Wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind, wird jedoch keine Genehmigung benötigt. Diese Voraussetzungen werden in der Verordnung über die erlaubnisfreie schadlose Versickerung von gesammeltem Niederschlagswasser (NWFreiV) und den Technische Regeln zum schadlosen Einleiten von gesammeltem Niederschlagswasser in das Grundwasser (TRENGW) geregelt. Grundlegend von Bedeutung ist die Versickerungsfähigkeit des Untergrundes. Für weitergehende Informationen wird auf die Homepage des Umweltamtes Nürnberg verwiesen [103].

Leitfaden „Zukunftsweisender und nachhaltiger Umgang mit Regenwasser“

Die Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN) hat in 2016 eine Broschüre herausgegeben, die sich dem zukunftsweisenden und nachhaltigen Umgang mit Regenwasser widmet [104]. In diesem Leitfaden werden zunächst die Anforderungen an ein Niederschlagswassermanagement (rechtliche, technische, kaufmännische) und die in Nürnberg vorherrschenden Bedingungen (naturräumlich, klimatisch, siedlungstechnisch, etc.) beleuchtet. Im Anschluss erfolgt ein Überblick über die technischen Möglichkeiten eines nachhaltigen Umgangs mit Niederschlagswasser, bevor die Problematik von zunehmenden Starkregenereignissen und das Potential urbaner Sturzfluten thematisiert wird.

Abschließend werden Handlungsempfehlungen gegeben, die helfen sollen, von der in der Vergangenheit praktizierten direkten Ableitung von Regenwasser hin zu einer naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftung im Nürnberger Stadtgebiet zu gelangen. Diese reichen von der genaueren Analyse des lokalen Niederschlagsgeschehens über Öffentlichkeitsarbeit und Aufklärung der Nürnberger Bürger bis hin zur Anwendung der dargestellten Grundsätze in Planung und Genehmigung. Als Leitlinie für den Umgang mit Regenwasser in Nürnberg werden Prüfschritte benannt, welche bei der Aufstellung von Bebauungsplänen, der Genehmigung privater Entwässerungsanlagen und der Planung von Sanierungsgebieten durchzuführen sind. Dabei kommt entsprechend den Vorgaben des § 55 des Wasserhaushaltsgesetzes die folgende Kaskade zur Anwendung: 1. wenn möglich Versickerung – 2. ist eine Versickerung nicht möglich, Ableitung in ein Gewässer – 3. besteht auch diese Möglichkeit nachgewiesenermaßen nicht, in Ausnahmefällen Einleitung in die öffentliche Kanalisation. In der Erarbeitung und Prüfung von Entwässerungskonzepten in der Bauleitplanung finden diese Prinzipien regelmäßig Anwendung.

Versickerungsanlagen in Nürnberg – Aktueller Stand

Im Nürnberger Stadtgebiet sind zum Stand März 2023 insgesamt 437 Versickerungsanlagen registriert (beginnend in 1993). Über diese wird eine Fläche von ca. 2,1 Mio. m² bzw. 210 ha entwässert (d.h. ca. 2-5 % der versiegelten Fläche in Nürnberg). Im Zeitraum 2017 – März 2023 sind allein 96 neue Anlagen mit einer angeschlossenen Fläche von ca. 413.000 m² genehmigt worden (+19,5 %). Es werden also kontinuierlich mehr Flächen an Versickerungsanlagen angeschlossen. Zahlen über die, meist auf privaten Grundstücken errichteten, erlaubnisfreien und damit nicht registrierten Versickerungsanlagen liegen beim Umweltamt der Stadt Nürnberg nicht vor. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass diese die Gesamtzahl aller hergestellten Versickerungsanlagen in Nürnberg deutlich erhöhen.

Die seit dem Jahr 2000 neu genehmigten Versickerungsanlagen sind überwiegend Rigolen, Mulden oder Mulden-Rigolen-Kombinationen. Sickerschächte sind generell aus Gründen des Gewässerschutzes zu vermeiden und werden entsprechend nur selten realisiert. Flächenversickerung findet häufig als zusätzliche Maßnahme über versickerungsfähige Beläge statt, ist aber nur selten die Hauptkomponente eines Versickerungskonzeptes (Diagramm 49).

Anzahl genehmigter Versickerungsanlagen seit 2000

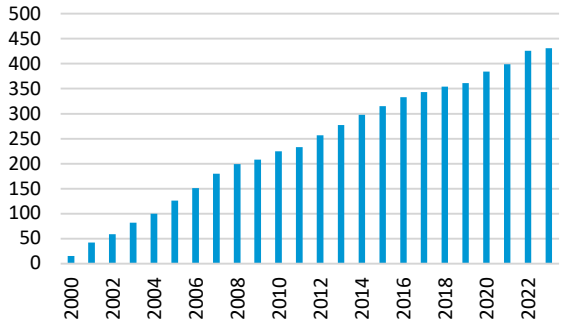


Diagramm 48: kumulierte Anzahl genehmigter Versickerungsanlagen im Nürnberger Stadtgebiet im Zeitraum 2000 – 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Versickerungsanlagen nach Typen

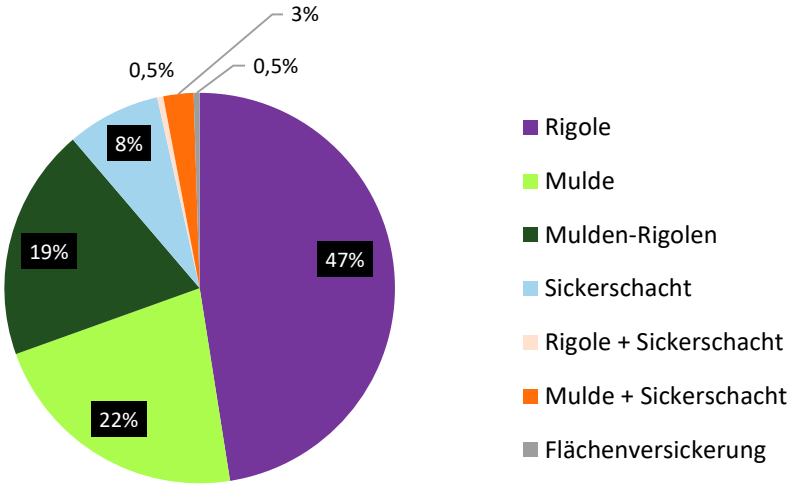


Diagramm 49: Prozentualer Anteil der verschiedenen Arten von Versickerungsanlagen an den seit 2000 genehmigten Anlagen im Nürnberger Stadtgebiet - Stand März 2023 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Flankierende Maßnahmen in den Versickerungs- und Niederschlagswasserkonzepten

Ein Bestandteil von Regenwasserbehandlungskonzepten ist der Rückhalt von Wasser. Dazu können Zisternen, Regenrückhaltebecken oder Retentionsdächer, aber auch die extensive Dachbegrünung genutzt werden.

Dachbegrünungen sind in Nürnberg schon seit mehreren Jahrzehnten Standardfestsetzungen in Bebauungsplänen und seit 2022 mit in Kraft treten der Begrünungssatzung auch für alle Neubauten vorgeschrieben. Je nach Intensität und Substratmächtigkeit kann dadurch ein erheblicher Anteil des ankommenden Niederschlags auf der Fläche gebunden und vor Ort genutzt werden. Hierdurch wird ebenfalls die Verdunstung erhöht, was für einen kühlenden Effekt sorgt. Der Abflussbeiwert kann um die Hälfte (oder mehr) reduziert werden. Das führt zu einem Rückhalt des jährlichen Gesamtniederschlags aus dieser Fläche von 50 %, der Großteil davon wird zur Verdunstung gebracht. Bei höheren Substrataufbauten kann der Wasserrückhalt bis über 90 % betragen (FLL-Richtlinie 2018 [105]).

2.7.2 Wassersensible Stadtentwicklung – Beispiele in Nürnberg

Um der, im Zusammenhang mit dem Klimawandel wissenschaftlich prognostizierten, zunehmenden Gefahr von vermehrt auftretenden, lokal variablen Starkregenereignissen, aber auch von häufiger auftretenden Hitzeperioden entgegenzuwirken, ist es notwendig, mit Blick auf das urbane Wassermanagement, neue Wege zu beschreiten. In der Stadtverwaltung Nürnberg hat man sich bereits seit geraumer Zeit auf den Weg gemacht, schrittweise Potenziale für eine wassersensiblere Umgestaltung des Stadtgebietes, sowohl der bebauten Siedlungsbereiche, als auch der neu zur Bebauung vorgesehenen Flächen, zu ergründen und konkrete Maßnahmen hierfür zu ergreifen.

Dies bedeutet, dass alle Wasserhaushaltsparameter und deren Wirkungen gleichermaßen in den Blick genommen werden müssen. Dieser Betrachtungsweise folgen das „Schwammstadtprinzip" bzw. die „blau-grün-grauen Infrastruktur-Maßnahmen" (vgl. Kapitel 2.7.2.2). Ziel ist hierbei, den natürlichen Wasserhaushalt mit seinen Komponenten Verdunstung, Versickerung und Abfluss im urbanen Umfeld soweit möglich abzubilden und zudem möglichst viel Wasser vor Ort zu halten. Das Prinzip folgt der Kaskade „sammeln und speichern, bewirtschaften und nutzen, verdunsten und kühlen und dann erst versickern" [106]. Der wichtigste Aspekt hierbei ist also zunächst, möglichst viel Wasser zurückzuhalten und zwischen zu speichern. Dies zum einen, um Schutz vor zu viel Wasser zu gewährleisten (Starkregen), zum anderen, um aus Gründen eines nachhaltigen und sorgsamen Umgangs mit der knapper werdenden Ressource Wasser und der Schonung der Wasservorräte das zurückgehaltene Wasser weiteren Nutzungszwecken zuführen zu können (Bewässerung, Kühlung durch Verdunstung, Anreicherung des Bodenwasserhaushalts als Langzeitspeicher).

2.7.2.1 Umgang mit Niederschlagswasser in der Bauleitplanung

Seit nunmehr zehn Jahren werden in Nürnberg im Rahmen der Bauleitplanung bei allen Neubauplanungen die Möglichkeiten des ortsnahen Umgangs mit dem Niederschlagswassers geprüft [101]. Dazu muss in der Regel zunächst ein hydrogeologisches Fachgutachten erstellt werden, auf dessen Basis ein Regenwasserkonzept erarbeitet wird. Ziel ist es, bei Bedarf auch über Grundstücksgrenzen hinweg einen ortsnahen Umgang mit dem Niederschlagswasser im Baugebiet sicherstellen zu können. Es werden abhängig von den festgestellten räumlichen und hydrogeologischen Voraussetzungen neben dem Einsatz von Versickerungsanlagen auch die Ableitung in nahegelegene Vorfluter untersucht und Maßnahmen zur Regenwasserrückhaltung (i.W. Dachbegrünungen) berücksichtigt. Erst wenn alle anderen Möglichkeiten der Regenwasserbehandlung und -rückhaltung als nicht realisierbar begutachtet wurden, soll die Ableitung in die städtische Kanalisation vorgesehen werden.

Auswertungsergebnis über die letzten 10 Jahre

Seit 2013 sind 31 Bebauungspläne, die eine Neubebauung vorsehen, rechtskräftig geworden. Davon weisen 10 Bebauungspläne (B-Pläne) je ein Niederschlagswasserkonzept mit kompletter, dezentraler Versickerung auf den Einzelgrundstücken oder mit Ableitung in eine oder mehrere zentrale Versickerungsanlagen, auf. Bei 4 Plänen findet teilweise eine Versickerung und teilweise eine Ableitung in einen Vorfluter statt, es wird das gesamte Niederschlagswasser ortsnah beseitigt. In 7 Fällen ist die Ableitung des gesamten anfallenden Niederschlagswassers in einen nahegelegenen Vorfluter konzipiert. Zwei Baugebiete verfügen über Versickerungsanlagen, die nur einen Teil des Niederschlagswassers aufnehmen können, für den überwiegenden Anteil musste dort eine Ableitung in die öffentliche Kanalisation vorgesehen werden. In den übrigen 8 Baugebieten, konnte hauptsächlich wegen mangelnder Versickerungsfähigkeit des Untergrundes und dem Fehlen geeigneter Vorfluter, keine Möglichkeiten des ortsnahen Umgangs mit dem Niederschlagwasser gefunden werden, so dass eine Ableitung in die städtische Mischwasserkanalisation erfolgt (vgl. Diagramm 50).

Dachbegrünung und wasserdurchlässige Oberflächenbefestigungen als wesentliche flankierende Maßnahmen von Niederschlagswasserkonzepten

Als ergänzende Maßnahme, werden in 26 der 31 B-Pläne die Regenwassermengen über die Begrünung von sämtlichen Dächern gedrosselt und teilweise verdunstet. Der Grad der Überdeckung variiert dabei zwischen 40 und 90 %. In 4 weiteren B-Plänen ist allerdings nur die Begrünung der Garagen und Carports, also von kleineren Flächenanteilen, vorgesehen. Lediglich in einem der B-Pläne ist keinerlei Dachbegrünung festgesetzt, da hier aus städtebaulichen Gründen nur Satteldächer zugelassen sind, die sich jedoch für eine Dachbegrünung nicht eignen.

Ergänzend wird in der Regel bei allen Bebauungsplänen festgesetzt, dass für die Herstellung von Hof und Parkflächen sowie Einfahrten nur versickerungsfähige Beläge

Umgang mit Niederschlagswasser in Bebauungsplänen

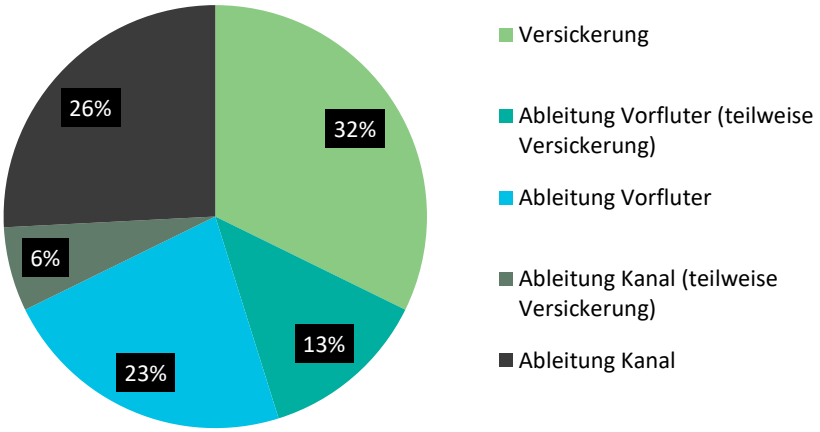


Diagramm 50: Prozentualer Anteil der verschiedenen Regenwasserbehandlungskonzepte in seit 2013 rechtskräftig gewordenen Bebauungsplänen *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

zulässig sind. Dies hat einen weiteren positiven Effekt auf die Drosselung des Niederschlagswasserabflusses und die Grundwasserneubildung.

Eine Auswertung von Luftbildern ergab, dass die Dachbegrünung in Neubaugebieten in der Regel auch umgesetzt wurden. Im Schnitt sind ca. 80 % der in Frage kommenden Dächer mit einer Begrünung ausgestattet. Dabei handelt es sich überwiegend um eine extensive Begrünung mit einer durchschnittlichen Höhe des Substrates von 10 cm.

Beispiel Bebauungsplan Nr. 4608: Schulstandort Rothenburger Straße (Johann-Pachelbel-Realschule)

Als Beispiel für ein Regenwasserkonzept in der Bauleitplanung soll im Folgenden der Standort der Johann-Pachelbel-Realschule an der Rothenburger Straße dienen:

Nördlich des Schulneubaus sind zwischen den Parkflächen insgesamt 15 kleinere Mulden-Rigolen-Systeme und zwei Mulden errichtet worden. Auf der Südseite befindet sich ein großer Mulden-Rigolen-Entwässerungsgraben und östlich eine große Mulden-Rigole am Rande eines Biotops (vgl. Abbildung 37). Insgesamt ist eine Fläche von ca. 16.500 m² an die Versickerungsanlagen angeschlossen. Zusätzlich sind die Stellplätze und Wege mit versickerungsfähigen Rasenfugenpflastern ausgestattet. Das Schulgebäude und die Sporthalle verfügen über flächendeckende (>80 %), extensive Dachbegrünungen mit einer Stärke von 10 cm (vgl. Abbildung 38). Das bewirkt nahezu eine Halbierung des Abflussbeiwertes im Vergleich zu nicht begrünten Dächern wodurch ca. die Hälfte des jährlichen Niederschlages, der auf diese Dachfläche trifft, zurückgehalten und zur Verdunstung gebracht werden kann. Das überschüssige Regenwasser versickert über die große Mulden-Rigole im südlichen Bereich bzw. über die Mulden-Rigole entlang des Biotops im Osten. Für die Mulden-Rigolen-Systeme wurde eine Bemessungshäufigkeit von n = 0,03/a – 0,1/a berechnet. Das bedeutet, dass die maximale Kapazität der Systeme durchschnittlich nur alle 10 bis 30 Jahre überschritten sein wird (Hinweis: Nach den aktuell gültigen technischen Regelwerken wäre die Dimensionierung von Versickerungsanlagen für die Ableitung eines Regenwasserereignisses von n= 0,2/a ausreichend, d.h. für ein Niederschlagswasserereignis, das statistisch alle 5 Jahre auftritt). Bei einem größeren Starkregenereignis wird das Wasser bei kurzzeitigem Einstau der Oberflächen in einen Überlaufgraben abgeleitet.



Abbildung 37: Große Versickerungsmulde mit Rigole östlich der Johann-Pachelbel-Realschule an der Rothenburger Straße in Nürnberg *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*



Abbildung 38: Extensive Dachbegrünung der Johann-Pachelbel-Realschule in Nürnberg *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Beispiel Bebauungsplan Nr. 4529: „Wallensteinstraße" (Angersiedlung)

Mit dem Baugebiet „Angersiedlung" an der Wallensteinstraße im Nürnberger Westen wird ein weiteres Beispiel für ein Regenwasserkonzept vorgestellt. Hier sind Dachflächen von insgesamt ca. 6.800 m² vorhanden. Diese sind zu 75 % extensiv begrünt, wodurch bereits etwa die Hälfte des Regenwassers zurückgehalten wird. Die geplante Entwässerung wird in zwei Entwässerungskonzepte aufgeteilt: Eines für die öffentlichen Flächen und ein weiteres für die privaten Grundstücksflächen (vgl. Abbildung 39).

Private Entwässerung:

Die Niederschlagsentwässerung der Dach- und Grünflächen findet innerhalb der in Gemeinschaftseigentum befindlichen, privaten Grünflächen statt. Diese befinden sich zwischen der Bebauung und weisen Retentions- und Versickerungsmulden auf (vgl. Abbildung 40). Das von den befestigten Flächen ablaufende Niederschlagswasser läuft den einzelnen Mulden oberirdisch zu. In den Mulden sammelt sich das Niederschlagswasser und sickert durch die mit Gras bepflanzte Oberbodenschicht in die darunterliegende Rigole. Die Poren der Kiesrigolen speichern das Wasser zwischen und lassen es langsam in den Untergrund versickern, wo es dann dem Grundwasser zugeführt wird. Einige Mulden sind für ein 5-jähriges Regenereignis konzipiert. Wenn es zu einem stärkeren Regenereignis kommt, wird das überschüssige Wasser an die Kanalisation weitergeleitet. Andere Mulden wurden so dimensioniert, dass auch ein 100-jähriges Regenereignis vollständig aufgenommen und versickert werden kann.

Öffentliche Entwässerung:

Das öffentliche Entwässerungskonzept bezieht sich auf die Fahrbahnen und fahrbahnbegleitenden Stellplätze im Plangebiet. Die „Angerstraßen B – D" (Kuchweg, Föttinger- und Guerickeweg, Nußelt- und Liebenweg) werden über ein Gefälle durch Rinnensysteme entwässert, die an den Endpunkten jeweils in eines von drei Rückhaltebecken mit eingebauter Drosselung führen (R1 – R3). Auf dem Weg dorthin und in den Becken kann bereits Regenwasser verdunsten und versickern.

Das Regenwasser der nordöstlich gelegenen „Angerstraße E" (Gertrude-Neumark-Weg) wird direkt an die öffentliche Kanalisation angeschlossen. Die in der Mitte des Baugebietes gelegene „Angerstraße A" (Guggenheimerstraße) entwässert aufgrund ihres Gefälles komplett in die angrenzenden Mulden A1 – A6. Die südliche Zufahrt der „Angerstraße A" und die fahrbahnbegleitenden Stellplätze entwässern über versickerungsfähige Flächenbeläge, das überschüssige Wasser wird in angrenzende Grünflächen oder Mulden geleitet.



Abbildung 39: Niederschlagswasserkonzept für den B-Plan 4529; Plan des Baugebietes mit den behelfsweise benannten „Angerstraßen A – E" (A= Guggenheimerstraße; B=Kuchweg, C=Föttingerweg Guerickeweg, D=Nußeltweg, Liebenweg, E=Gertrude-Neumark-Weg). Die blauen Nummern 1 - 9.2 stellen private Versickerungsmulden dar. Die Nummer A1 - A6 zeigen öffentlich Versickerungsmulden. R1 - R2 sind die Standorte der drei Regenrückhaltebecken (Quelle: Adler & Olesch, Landschaftsarchitekten GmbH)



Abbildung 40: Private Versickerungsmulde im Neubaugebiet "Angersiedlung" in Großreuth bei Schweinau *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Fazit:

Insgesamt konnte mit diesem konsequenten Vorgehen in der Bauleitplanung der letzten 10 Jahre erreicht werden, dass bei knapp 70 % aller seither in Kraft getretenen Bebauungspläne mit dem gesamten im Gebiet anfallenden Niederschlagswasser Vorort umgegangen wird. Bei rund 90 % der B-Pläne sind außerdem Dachbegrünungen Teil des Regenwasserkonzeptes.

2.7.2.2 Zukunftsweisende Planungsbeispiele

REFERENZBEISPIEL PROTOTYP BLAU-GRÜNER STRASSENRAUM

Quelle: Forschungsprojekt „Blue-Green-Streets“
bgmr Landschaftsarchitekten et al.

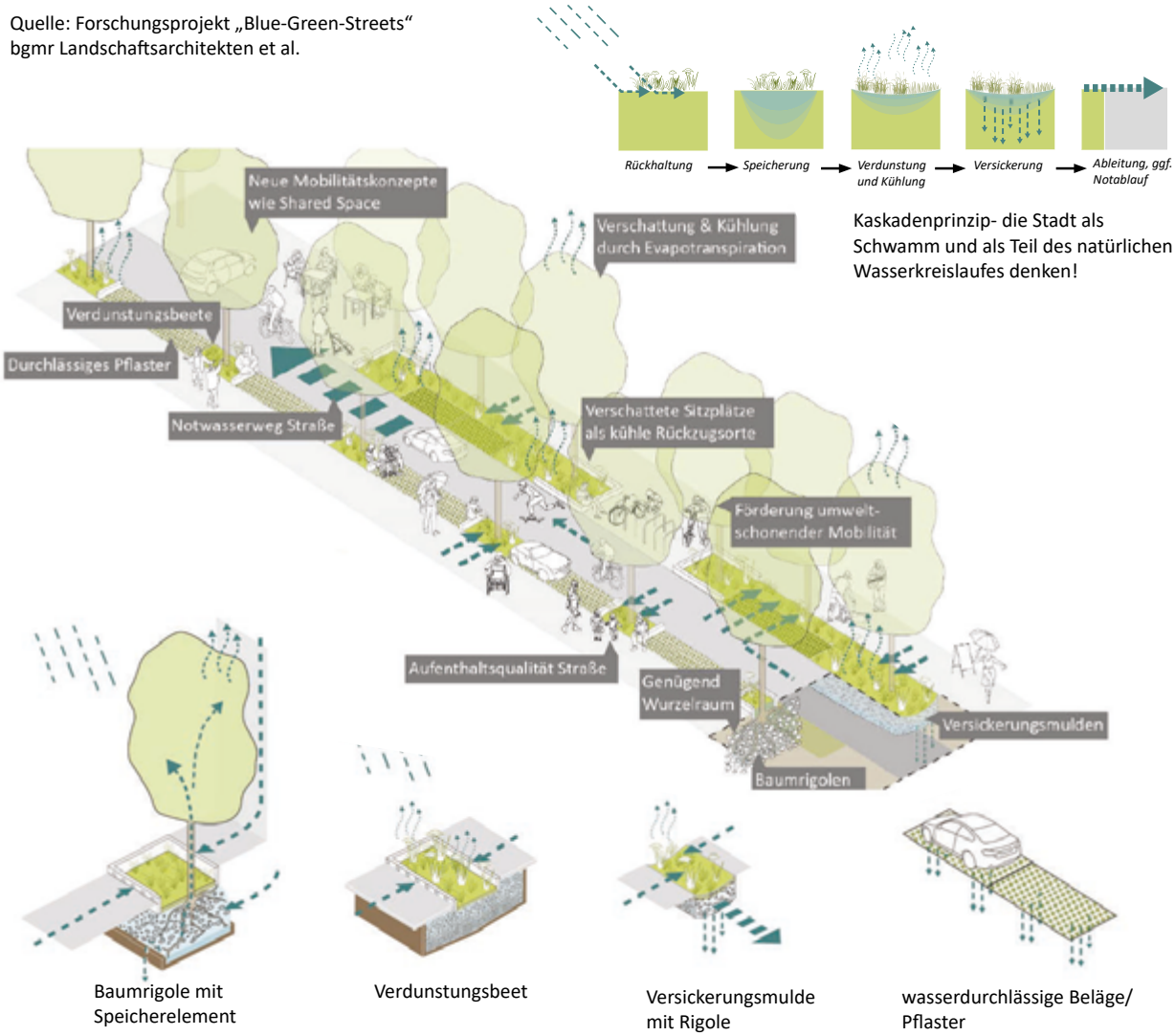


Abbildung 41: Beispiele für blau-grün-graue Infrastrukturmaßnahmen *(Quelle: bgmr Landschaftsarchitekten GmbH [106])*

Das „Schwammstadtprinzip“, bzw. „blau-grün-grauen Infrastruktur-Maßnahmen (Abbildung 41 und 42) zielen darauf ab, möglichst viel Wasser vor Ort zu halten und zwischenzuspeichern sowie den Oberflächenabfluss von befestigten Flächen zu reduzieren. Folgende Bausteine lassen sich exemplarisch der blau-grün-grauen Infrastruktur zuordnen [107]:

Für den grünen Bereich sind Maßnahmen der Dachbegrünung, der Fassaden- oder Wandbegrünung, der nicht-gebäudebezogenen Bauwerksbegrünung (z.B. Gleisbettbegrünung, begrünte Schallschutzwände), Grünflächen und grüne Freiräume sowie die Freiflächenversickerung und Versickerungen mit Bodenpassage über z.B. Mulden oder Baumrigolen zu nennen.

Zum grauen Bereich zählen technische Lösungen wie Bewässerungseinrichtungen (Beregnung, Unterflurbewässerung, etc.), unterirdische Versickerungs- und Speicheranlagen (z.B. Rigolen, Sickerschächte) und Zisternen. Entsiegelungsmaßnahmen bzw. die Vermeidung von Versiegelung/Teilversiegelung lassen sich unter den grün-grauen Bereich subsumieren, bieten demnach bereits Mehrfachfunktionen.

In den blauen Bereich gehören die Anlage von Wasserflächen, Wasserspielen und multifunktionalen Rückhalteräumen (z.B. Verdunstungsmulden).

Viele dieser Elemente sind in den Nürnberger Bestrebungen, sich dem Thema „Wassersensible Stadtentwicklung“ zu nähern, bereits heute Bestandteil von konkreten Planungen.



Abbildung 42: Beispiele aus netWORKS4 [107]: 1 - Arkadien, Winnenden *(Quelle: Henning Larsen)*; 2 - Rasensprenger *(Quelle: A. Christen, UBC Geography [150])*; 3 - Urbane Fläche, Tanner Springs Park in Portland, Oregon, USA *(Quelle: Henning Larsen)*; 4 - Rummelsburger Bucht, Berlin *(Quelle: Kompetenzzentrum Wasser Berlin)*; 5 - Scharnhauser Park, Ostfildern *(Quelle: Henning Larsen)*]

Neben den Konzepten in der Bauleitplanung gibt es vielfältige Bemühungen in der Stadtverwaltung auch bei den weiteren Städtebaulichen Maßnahmen die Themen einer wassersensiblen Umgestaltung des Stadtgebietes sukzessive in die jeweiligen Vorhaben einzubinden. Exemplarisch sollen hier Beispiele für zukunftsweisende Planungskonzepte sowie konkrete Planungen vorgestellt werden, welche den Schwammstadtprinzipien große Bedeutung beimessen.

Freiraumkonzept Nürnberger Süden

Im Rahmen des Freiraumkonzeptes Nürnberger Süden [108], welches ein Baustein des Masterplan Freiraum ist und zum Ziel hat, die Grün- und Freiraumsituation in der Süd- und Südweststadt nachhaltig zu verbessern, wurde 2020 bis 2022 ein integratives Freiraumkonzept erstellt. Dieses beinhaltet das Gutachten „Mehr Grün im Nürnberger Süden – Eine Potentialanalyse!". Hierin nimmt das Schwammstadtprinzip in Form einer wassersensiblen Stadtentwicklung eine große Rolle ein. Die verdichtete, gründefizitäre und thermisch belastete Süd- und Südweststadt soll gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels resilient umgestaltet werden. Dabei werden Trockenheitsvorsorge, Hitzeanpassung und Überflutungsvorsorge in die Grün- und Freiraumplanung implementiert. Wasser spielt hierbei eine relevante Rolle. Grün- und Parkanlagen, Plätze sowie Straßenräume sollen so umgestaltet werden, dass sie Teil einer blau-grünen Infrastruktur sind. Dazu gehören die vorgeschlagenen Klimaanpassungsmaßnahmen, wie z.B. die Neuschaffung von Grünflächen, die blau-grüne Umgestaltung von Stadtplätzen und Straßenräumen, die klimagerechte Sanierung von bestehenden Grün- und Parkanlagen, wie klimasensitive Maßnahmen in Gewerbegebieten und auch die Neupflanzung von Straßenbäumen in gründefizitären und thermisch belasteten Stadtteilen.

Konkret sind aus dem Freiraumkonzept 10 Maßnahmen priorisiert worden, die bis 2035 umgesetzt werden sollen. Im Hinblick auf die wassersensible Stadtentwicklung sind dies:

- Eine großräumige Entsiegelungsmaßnahme ist bei der Neuanlage des ca. 3,5 ha großen Hiroshimaparks in der Südstadt vorgesehen.
- Die geplante Südstadt.Klima.Meile inklusive einem „Klimaquartier" ist eine der fünf blau-grünen Meilen, die das grüne Rückgrat des Freiraumkonzepts bilden.
- Beim Klimaquartier werden u.a Klimahöfe mit privaten Begrünungsmaßnahmen in Hinterhöfen, auf Fassaden und Dächern gefördert.
- Der „Blau-Grüne Gustav", der Vorplatz an der Gustav-Adolf-Gedächtniskirche, ist eine weitere prioritäre städtische Maßnahme und Bestandteil des Klimaplatzprogramms.
- Die klimagerechte Umgestaltung des Annaparks inklusive der Grünanlagen Maffeiplatz und Schuckertplatz umfasst großräumige Entsiegelungsmaßnahmen im angrenzenden Straßenraum.
- Im Rahmen der Straßenbaumoffensive im Nürnberger Süden sollen 300 neue Straßenbäume in den nächsten



Abbildung 43: Visualisierung Südstadt.Klima.Meile aus dem Freiraumkonzept Nürnberger Süden *(Quelle: Büro bgmr Landschaftsarchitekten, 2022; Foto: G. Illig [106])*

Jahren gepflanzt werden und zur Kühlung durch Verdunstung beitragen.

Im Freiraumkonzept ist zudem eine jährliche Entkopplung von 1 % der Flächen vom städtischen Kanalnetz vorgesehen. Zusammen mit der Umsetzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen soll das Kanalsystem entsprechend entlastet, Überflutung vermindert und das Niederschlagswasser in der Fläche wie ein Schwamm gespeichert werden.

Entwässerungskonzept zum Bebauungsplan Nr. 4641 „Wetzendorf“

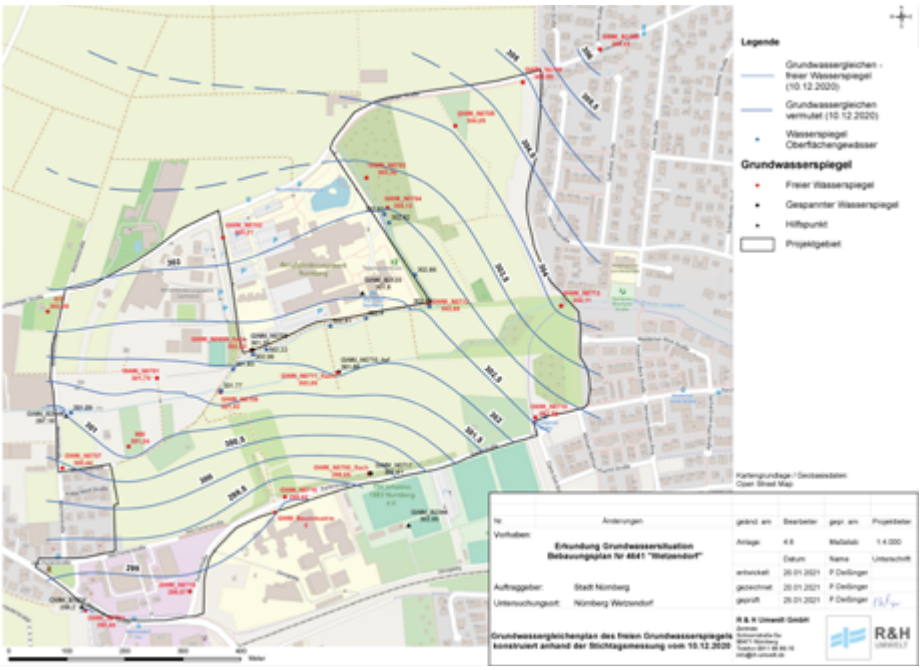
Ende 2015 wurde im Stadtplanungsausschuss der Beschluss zur Einleitung des Bebauungsplans Nr. 4641 „Wetzendorf“ auf der Basis des „Strukturkonzept Wetzendorf“ gefasst. Es handelt sich hierbei zum großen Teil um Flächen, die im Flächennutzungsplan mit integriertem Landschaftsplan der Stadt Nürnberg (FNP) als Wohnbauflächen dargestellt sind. Ein wesentliches Element in der Planung soll der künftige, zentral gelegene, multifunktionale Wetzendorfer Park darstellen, der über den Teil-B-Plan Nr. 4641A planungsrechtlich gesichert wird.

Die Tatsache, dass das betrachtete Gebiet in weiten Teilen nach der vorhandenen Datenlage einen relativ geringen Grundwasserflurabstand aufweist, führte dazu, dass umfangreiche Untersuchungen durchgeführt wurden, um ein genaueres Bild der Grundwassersituation zu generieren. Diese dienten auch als notwendige Grundlage für die Erstellung eines Entwässerungskonzeptes im Rahmen der Aufstellung des Bebauungsplans.

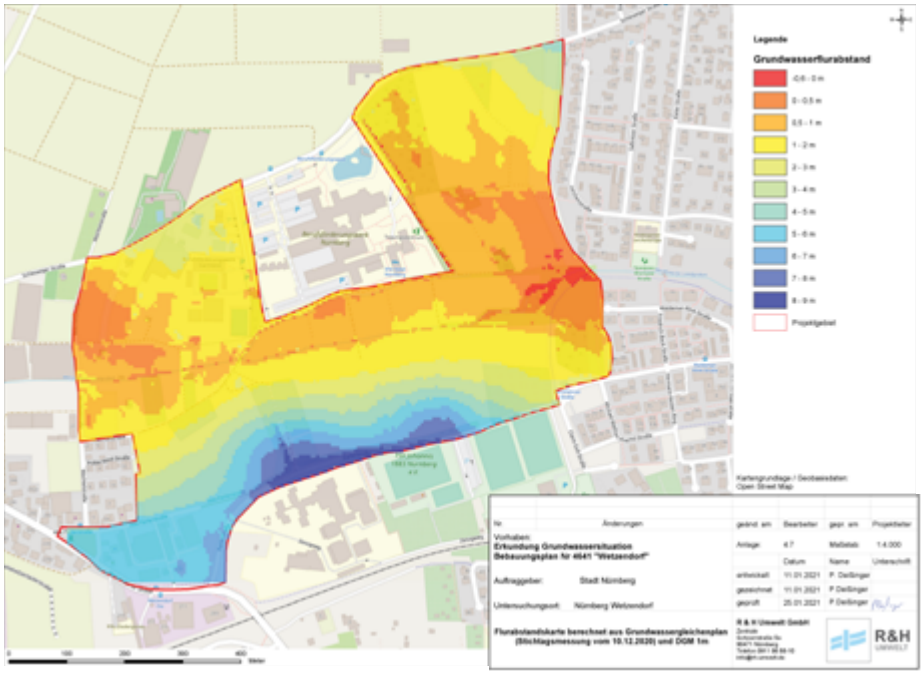
Des Weiteren befand sich die Modellierung des Überschwemmungsgebietes zum Wetzendorfer Landgraben (HQ100) in der Erarbeitung beim Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU). Der Zeitraum der Fertigstellung war jedoch noch nicht bekannt. Daher wurde vorab ein vorläufiges Hochwassergutachten in Auftrag gegeben (2017) und in die Planungsprozesse einbezogen. Nach Vorliegen des amtlich ermittelten Überschwemmungsgebietes und dessen vorläufiger Sicherung im Jahr 2021 mussten schließlich Umplanungen vorgenommen werden, um Teile von im B-Plan Nr. 4641A vorgesehenen Wohngebieten hinter die Grenze des HQ100 zurückzuversetzen und dem im § 78 Abs.1 i.V.m. Abs.8 WHG fixierten Verbot der Ausweisung neuer Baugebiete in Überschwemmungsgebieten im Außenbereich Rechnung zu tragen.

Die Grundwassererkundung wurde auf Grundlage eines Messstellennetzes, bestehend aus 20 Messstellen, durchgeführt, das eigens dafür errichtet wurde. Zusätzliche Erkenntnisse konnten aus vorhandenen Messstellen einbezogen werden. Die Ergebnisse einer ersten Stichtagmessung wurden in einer Flurabstandskarte und einem Grundwassergleichenplan zusammengefasst (Karte 39 und Karte 40). Dabei konnten die vorherigen Annahmen verfeinert werden und es bestätigte sich, dass der Flurabstand vor allem im zentralen und nördlichen Bereich besonders gering ist, wohingegen im Süden des Gebietes eine bessere Versickerungseignung angenommen werden kann. Diese Erkenntnisse konnten nun auch für die Erstellung des Entwässerungskonzeptes herangezogen werden.

Die Konzeption der Entwässerungsanlagen sieht vor, dass die anfallenden Niederschlagsabflüsse in sogenannten „Grünfingern“, d.h. zwischen den Baugebieten angeordnete



Karte 39: Grundwassergleichenplan Bebauungsplan „Wetzendorf“ *(Quelle: R&H Umwelt GmbH [109])*



Karte 40: Flurabstandskarte Bebauungsplan „Wetzendorf“ *(Quelle: R&H Umwelt GmbH [109])*

Grünanlagen, zwischengespeichert und verzögert in den Wetzendorfer Landgraben eingeleitet werden. Letzteres unter Berücksichtigung der zulässigen Drosselwasserabflüsse (Karte 41 und 42).

Innerhalb der privaten Bauflächen müssen grundstücksbezogene Entwässerungseinrichtungen Niederschlagsvolumina bis zu einem 5-jährigen Regenereignis zurückhalten. Größere Abflussmengen bis hin zum 10-jährigen Regenereignis werden vorzugsweise über straßenparallel verlaufende begrünte Muldenstrukturen an der Geländeoberfläche abgeleitet und schließlich in den „Grünfingern“ zurückgehalten. Die straßenbegleitenden Mulden dienen gleichzeitig der Ableitung der Niederschlagswässer der zugehörigen Verkehrsflächen für Regenmengen bis zu einem 5-jährigen Re-

genereignis. Bei stärkeren Niederschlagsereignissen wird das Wasser aus den besagten „Grünfingern" in die Parkanlage übergeleitet und zunächst im Westteil derselben schadlos zurückgehalten, ehe sie in den Wetzendorfer Landgraben abgeleitet werden. Dieser soll, nach einem entsprechend durchgeführten wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren, in diesem Gewässerabschnitt künftig einen ökologischen Ausbau bzw. eine Renaturierung erfahren und in diesem Zuge nach Norden verlegt und bachaufwärts mit dem von Norden zufließenden Seegraben zusammengeführt werden.

Die straßenparallel verlaufenden Entwässerungsmulden entlang der ausgebauten Parlerstraße und z.T. entlang der öffentlichen „Grünfinger" bieten die Möglichkeit, in Kombination mit mehreren Zisternen zur Bewässerung von Straßenbäumen („Baumrigolen") nach dem „Stockholmer Modell" (nach Nürnberger Art) eine optimierte Wasserversorgung der Bäume mit einem dezentralen Niederschlagswassermanagement zu verknüpfen. Damit wird auch ein Beitrag zur Klimaanpassung in Hitzephasen durch die kühlende Wirkung der Bäume geleistet.

Die Speicherung von Niederschlagswasser und Förderung der Verdunstung in Form besagter Baumrigolen und Zisternen sowie die oberflächennahe Bewirtschaftung der Niederschläge in der beschriebenen Kaskade mit straßenbegleitenden Mulden, Grünfingern, der Überleitung in den Wetzendorfer Park und den vorgesehenen privaten Rückhaltemaßnahmen wie Dachbegrünungen, tragen zur Entwicklung eines wassersensiblen und resilienten neuen Stadtteils bei und machen das Wasser auch vor Ort erlebbar. Durch die großen Grünflächen und Rückhaltemaßnahmen ist auch ein erheblicher Beitrag zur Erhaltung eines günstigen Lokal- und Bioklimas im Gebiet und der näheren Umgebung zu erwarten.



Karte 41: Entwässerungskonzept Bebauungsplan „Wetzendorf" Teil A
(Quelle: Björnsen Beratende Ingenieure GmbH [110])



Karte 42: Entwässerungskonzept Bebauungsplan „Wetzendorf" Teil B
(Quelle: Björnsen Beratende Ingenieure GmbH [110])

Entwässerungskonzept zum Bebauungsplan Nr. 4445 „Tiefes Feld“

Bereits Mitte 1999 wurde vom Stadtplanungsausschuss der Beschluss gefasst, den Bebauungsplan Nr. 4445 einzuleiten. Nach einer Phase von knapp zehn Jahren, in der das Verfahren ruhte, wurde ein städtebaulicher Rahmenplan als Grundlage für die Gesamtentwicklung des Tiefen Feldes erarbeitet.

Ein Versickerungsgutachten stellte zunächst für weite Teile der betrachteten Flächen eine mangelnde Versickerungseignung aufgrund von in geringer Tiefe anstehenden Lettenlagen fest. Lediglich im nördlichen Bereich können potentiell Versickerungsanlagen in Betracht gezogen werden. Es war ferner auch im Vorfeld bereits bekannt, dass es in den landwirtschaftlich genutzten Flächen regelmäßig zu Vernässungen im Verlauf regenreicherer Zeiträume kam, mit zunehmender Intensität in Richtung Südwesten (Südwesttangente).

In den ersten Planungsansätzen wurde die Idee eines Natursees im Gebiet betrachtet. Dazu wurde in einer Machbarkeitsstudie der TH Nürnberg das Potential zur Herstellung dieses „Ökosees“/ offenen Wasserfläche begutachtet, bewertet und in verschiedenen Varianten aufgezeigt: Grundwassersee, gedichteter See mit herkömmlichem oder ökologischem Deckwerk (vgl. Abbildung 44). Das Projekt konnte jedoch nicht weiterverfolgt werden, da es ansonsten nicht möglich gewesen wäre, die verbleibende landwirtschaftliche Nutzfläche von ca. 15 ha und ein bestehendes Biotop (zudem planfestgestellte Ausgleichsfläche) zu erhalten und gleichzeitig den Bedarf an Freizeit- und Spielflächen sowie die notwendigen Retentionsflächen in einem Landschaftspark abzudecken.



Abbildung 44: „Ökosee“ – Machbarkeitsstudie zu einer neuen Wasserfläche Tiefes Feld, 2020 *(Quelle: Technische Hochschule Nürnberg, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft Nürnberg - IWWN [111])*

Daraufhin wurde im Auftrag der Stadt Nürnberg ein Entwässerungskonzept unter der Prämisse der wassersensiblen Planung auf privaten als auch öffentlichen Grundstücken entwickelt. Es wurde in einem integrativen Planungsprozess unter Einbezug aller relevanten Beteiligten gestalterisch und funktional im Freiflächenrahmenplan für die Gebietsentwicklung des Tiefen Feldes integriert. Ziel dieses Entwurfs ist das Erreichen bzw. der Erhalt des natürlichen Wasserhaushaltes.



Abbildung 45: Schematische Darstellung des Entwässerungskonzepts zum B-Plan Nr. 4445 „Tiefes Feld“
(Quelle: integrierte Planung – adlerolesch im Verbund mit Ramboll Studio Dreiseitl / Henning Larsen [112])

Dem Konzept wird zuvorderst eine dezentrale oberirdische Ableitung und Retention des Niederschlagswasseraufkommens zugrunde gelegt, da, wie erläutert, eine Versickerung aufgrund des lehmigen Untergrundes nicht oder kaum möglich ist. Es soll eine durchgängige Entwässerungstopographie von Osten nach Westen hergestellt und die Errichtung eines Regenwasserkanals vermieden werden. Die Einleitung in einen Schmutzwasserkanal ist nicht zulässig.

Für eine dezentrale, naturnahe Niederschlagswasserbewirtschaftung im Tiefen Feld werden vielfältige Maßnahmen zur Anwendung kommen, so z.B. Gründächer und Tiefgaragendecken mit Retentionsfunktion oder Regenwasserzisternen. Es werden außerdem technische Maßnahmen erforderlich, wie etwa Sedimentationsschächte für die technische Vorreinigung des Oberflächenwassers von Verkehrsflächen vor der Einleitung in die Retentionsflächen.

Für die private Entwässerung ist vorgesehen, das anfallende Niederschlagswasser auf kurzem Weg in die rückwärtigen, öffentlichen Grünfinger über Ableitungsmulden zu leiten und in einer Kaskade aus multifunktional nutzbaren Retentionsmulden im Bereich des Landschaftsparks weiterzuführen (vgl. Abbildung 45). Von Diesen schließt sich die gedrosselte Ableitung in Richtung Diebsgraben an, der über eine Verdolung unter der Südwesttangente hindurch gedrosselt zur Rednitz entwässert.

Straßenabwässer werden vor jeder Einleitung in die Ableit- oder Retentionsmulden einer Vorreinigung unterzogen. Ferner wird eine ausreichende Vorreinigung für das gesammelte Abwasser der Neuen Rothenburger Straße, der Südwesttangente und der landwirtschaftlichen Flächen berücksichtigt.

Straßenprofile und Mulden in den Grünfingern dienen gleichzeitig als Notwasserwege vom Grundstück bis zu den Retentionsflächen. In den öffentlichen Flächen wird durch die geplante, durchgängige, oberirdische Entwässerungstopographie und das oberflächennahe Ableitungssystem die sichere Ableitung von Oberflächenabflüssen auch bei Extremereignissen (bis 100jährlich) sichergestellt.

Das Niederschlagswassermanagement wird im Konzept für die verschiedenen Teilbereiche gesondert im Detail entwickelt:

Nördlich der Neuen Rothenburger Straße (Teil-B-Plan Nr. 4445a) wird das Niederschlagswasser der privaten Grundstücke der Wohngebiete, der urbanen Gebiete und der Kerngebiete und auch der Gemeindebedarfsflächen über Rinnen und Gräben oberflächennah und auf kurzem Weg in die öffentlichen Retentionsflächen und die zentrale Retentionsmulde am westlichen Rand entwässert. Über einen Regenwasserkanal wird das überschüssige, überlaufende Niederschlagswasser im Anschluss unter der Neuen Rothenburger Straße hindurch in das nordwestlich gelegene Regenrückhaltebecken (RRB 3.1) übergeleitet (vgl. Abbildung 45 und 46).

Südlich der Neuen Rothenburger Straße (Teil-B-Pläne Nr. 4445b und Nr. 4445c) wird das Niederschlagswasser auf den privaten Grundstücken mittels Dachbegrünung und, falls erforderlich, mit Retentionsdächern zurückgehalten und anschließend oberflächennah mittels Rinnen oder Mulden in die rückwärtigen öffentlichen Grünfinger geleitet. Von den nördlichen Baufeldern wird das überschüssige Regenwasser in einer parallelen Rinne oder Mulde in die zentralen Grünfinger bzw. direkt in die Retentionsmulden am westlichen Rand geleitet. Auch öffentliche Verkehrsflächen entwässern das Niederschlagswasser oberflächennah in die öffentlichen Grünfinger mittels Ableitungsgräben oder direkt in die südlichen Retentionsmulden. Aus den öffentliche Grünfingern

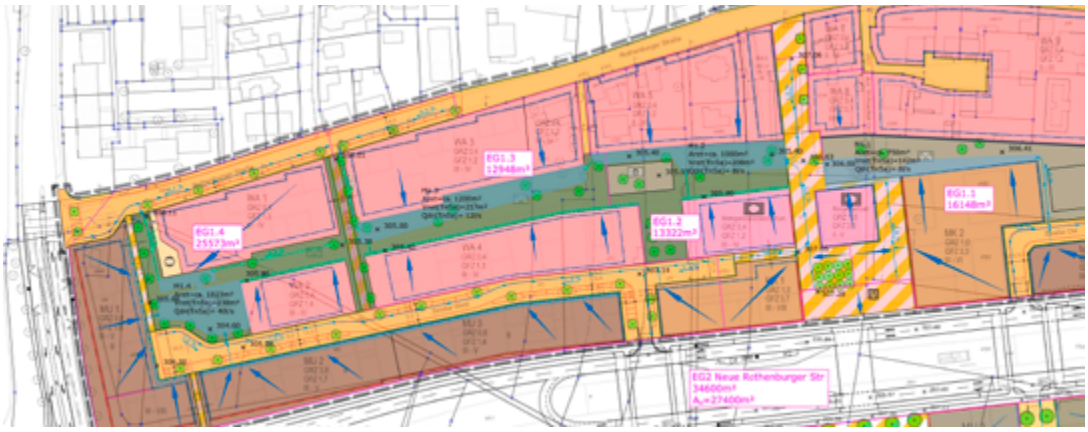


Abbildung 46: Entwässerung Teil-B-Plan Nr. 4445a, Nördlich der Rothenburger Straße
(Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl / Hening Larsen [113])

wird das gesammelte Niederschlagswasser weiter in die südlich liegende Kaskade aus Retentionsmulden und anschließend in den Diebsgraben entwässert. Wege werden üblicherweise mit Kastenrinnen gequert (Abbildung 47). An der südlichen Kante zwischen Bebauung und Geh- und Radweg wird der Landschaftspark multifunktional als Retentionslandschaft gestaltet. Die Retentionsmulden fallen kaskadenförmig von Ost nach West ab.



Abbildung 47: Öffentliche Kastenrinne (abgedeckt) für Grundstücks- und Straßenentwässerung *(Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl / Henning Larsen [113])*

Bezüglich des geplanten Bildungszentrums im Zentrum der Bebauung südlich der Neuen Rothenburger Straße ist es infolge der gegebenen Zwänge (Schulhof, notwendige Technik, etc.) gegebenenfalls notwendig, technische Lösungen zur Speicherung des Regenwassers vorzusehen (Retentionsdach auf Dach- und Tiefgaragenebene, Regenwasserzisternen mit Retentionsfunktion). Die Niederschlagswässer der Schulhoffläche werden über Kastenrinnen gesammelt und oberflächennah in den westlichen Grünfinger oder die im



Abbildung 49: Entwässerung Bildungszentrum südlich der Rothenburger Straße, mittlerer Abschnitt (Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl / Henning Larsen [113])

Süden gelegene öffentliche Retentionsmulde abgeleitet. Stärkere Regenereignisse werden über die durchgängige Entwässerungstopographie (Quergefälle und Längsgefälle) abgeleitet, wobei eine kurzzeitige Überflutung der Pausen- und Sportflächen für die Notentwässerung beachtet werden muss (Abbildung 49).

Im Bereich des südlich der Baufelder geplanten Landschaftsparks mit landwirtschaftlichen Flächen wird das Oberflächenwasser dezentral gesammelt, zurückgehalten und gereinigt. Dazu kommen noch weitere Zuflüsse aus direkt angrenzenden Gebieten. Die weitere Ableitung erfolgt über eine optionale Retentionsfläche ganz im Südosten sowie den Retentionsgraben südlich der landwirtschaftlichen Flächen und über ein Regenrückhalte-Klärbecken für die Straßenwässer der Südwesttangente (RRB 4-5), bevor das gesammelte Oberflächenwasser durch den Diebsgraben und entlang des bestehenden Biotops im Regenrückhaltebecken Nr. 3.1 im Nordwesten ankommt (vgl. Abbildung 45).



Abbildung 48: Entwässerung Teil-B-Plan Nr. 4445b, südlich der Rothenburger Straße, westlicher Abschnitt *(Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl / Henning Larsen [113])*

Umgestaltung des Obstmarktes im Sinne der Schwammstadt

Der Obstmarkt, der sich östlich der Frauenkirche befindet, gilt zusammen mit dem Hauptmarkt als die „gute Stube" der Stadt. Der heute eher triste, vom Autoverkehr geprägte Obstmarkt wird künftig zu einem attraktiven und vielseitig nutzbaren Stadtraum umgestaltet, der allen Menschen gleichermaßen zur Verfügung steht. Der Klimaanpassung wird durch Baumpflanzungen, Entsiegelung, Schaffung von Grünflächen, Fassadenbegrünung, Brunnen/Wasserelementen und durch ein Entwässerungskonzept im Sinne der Schwammstadt Rechnung getragen. Der Planungsprozess wurde von einer breiten Bürgerbeteiligung begleitet, über die viele Ideen eingebracht und mehrheitlich aufgenommen wurden. Dabei wurde auch der Wunsch nach mehr Entsiegelung und Begrünung geäußert. In einem Bereich mit einer hohen Frequenz und Belastung der Flächen sind solche Maßnahmen jedoch leider nur begrenzt möglich, wodurch ein eher technisches Konzept für die nachhaltige Niederschlagswasserbeseitigung gewählt werden musste (mit z.B. Baumrigolen und einem dazu passenden Rückhaltekonzept). Diese Konzeption des Niederschlagswassermanagements soll beispielgebend sein für weitere Planungen in der Innenstadt, die mit beengten Platzverhältnissen und vielfältigen Zwängen konfrontiert sind.

Das Entwässerungskonzept sieht eine vollständige Regenrückhaltung und Versickerung des Oberflächenwassers vor, das gleichzeitig den Bäumen zur Bewässerung dienen und die Kanalisation bei Starkregen entlasten wird. Das Niederschlagswasser kann sowohl oberirdisch über offene Baumscheiben mit ausgebildeten Mulden und über offenporige, wasserdurchlässige Belagsflächen, als auch unterirdisch über Pflasterrinnen und Straßeneinläufe einem Rigolen-System zugeführt werden. Jeder Rigolenkörper verbindet mehrere Baumscheiben miteinander. Die Beschickung dieser Rigolen erfolgt zentral oder dezentral.

Zur Umsetzung der Planung ist eine Spartenverlegung vor Beginn der Ausbauarbeiten erforderlich, die für 2024 geplant ist. Der Baubeginn für die Umgestaltung des Obstmarkts ist für 2025 vorgesehen.



Abbildung 50: Visualisierung Obstmarkt *(Quelle: Schegk Landschaftsarchitekten & BDLA Stadtplaner)*

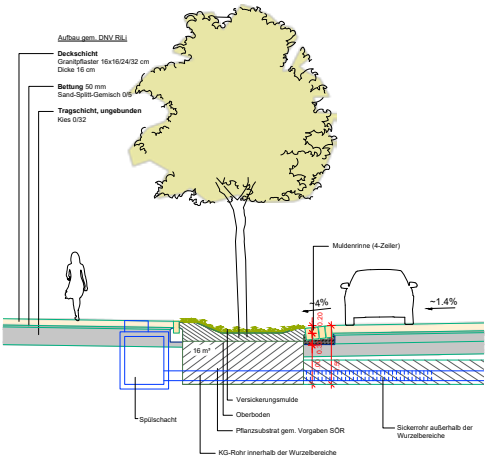


Abbildung 51: offene Baumscheiben *(Quelle: Stadt Nürnberg)*

Umgestaltung der Ambergerstraße

Die Ambergerstraße in Schweinau verbindet die Nopitschstraße mit der Zweibrückener Straße und der Turnerheimstraße. Aktuell ist sie eine Sackgasse und per PKW nur von der Nopitschstraße und Friesenstraße aus zugänglich. Bis in die 1980er Jahre fuhr die Straßenbahn von der Hohen Marter durch die Ambergerstraße bis zum damaligen Straßenbahndepot.

Die Ambergerstraße ist ein Abschnitt des konzipierten „Grünen Wegs vom Plärrer zum Faberwald" [114] und wird als öffentliche Grünfläche umgestaltet. Das freiraumplanerische Konzept sieht die Schaffung eines grünen Freiraums, attraktiver Aufenthaltsbereiche und Wegeverbindungen im Sinne des o.g. Grünen Weges (durchgängiger Grünzug) vor. Der bislang versiegelte, vorwiegend als Parkplatz genutzte, Straßenraum wird großflächig entsiegelt. Der wertvolle Baumbestand wird erhalten und durch neue Baumpflanzungen weiterentwickelt. Durch den Einbezug der benachbarten



Abbildung 52: Visualisierung Umgestaltung der Ambergerstraße *(Quelle: Planungsgruppe Landschaft)*

Grundschule werden auch dort Flächen entsiegelt, neu geordnet und zudem große, öffentlich zugängliche Spiel- und Bewegungsflächen geschaffen. Die Realisierung soll in 2024 beginnen und bis 2025 zu einem Abschluss kommen.

Insgesamt werden ca. 5.500 m² neue Grünflächen auf bisher versiegelten Flächen des Straßenraums und des Schulhofs geschaffen. Dadurch entsteht mit den Bestandsflächen eine zusammenhängende, öffentliche Grünanlage von ca. 9.000 m². Anfallendes Regenwasser wird im Sinne der Schwammstadt zukünftig vollständig zurückgehalten, in Substraten und Belägen gespeichert, genutzt, verdunstet und in den Grünflächen versickert. Das Wasser steht den Pflanzen zur Verfügung, dient einer nachhaltigen Entwicklung der neuen Bäume und Sträucher und sorgt durch Verdunstung und Transpiration für lokale Kühlungseffekte. Dabei werden auch neuartige Beläge verwendet, die Wasser speichern und langsam wieder verdunsten können. Bei Starkregen soll es dadurch keinen Rückstau geben, was wiederum zu einer Entlastung des Kanalsystems führt.

Fazit und Ausblick

Aus den vorgestellten Beispielen wird ersichtlich, dass Nürnberg sich auf den Weg gemacht hat, sein Stadtgebiet sukzessive wassersensibel (um-)zugestalten. In konkreten Planungen ist es bereits als gängige Praxis zu bezeichnen, dass man sich der Wasserthemen offen und innovativ annimmt. Die frühzeitige Ermittlung der hydrogeologischen Bedingungen in den Planungsgebieten und der Bedarfe für eine nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung sollte an den Beginn der Planungsprozesse gestellt werden, um die benötigten Flächen zu identifizieren und bestenfalls von Bebauung freizuhalten. Für künftige Planungen sollen des Weiteren auch Gebietswasserbilanzen erarbeitet werden, um die Erfordernisse des Wasserhaushaltes quantitativ genauer berücksichtigen zu können.

Die wassersensible Stadtentwicklung umfasst zahlreiche unterschiedliche Disziplinen und wird deshalb auf vielfältige Weise innerhalb der Verantwortlichkeiten der Stadtverwaltung angegangen. Viele Projekte beschäftigen sich mit Aufgaben- und Fragestellungen, die das Thema Wasser in der Stadt berühren. Eine weitere Intensivierung der interdisziplinären Zusammenarbeit und der Abstimmungsprozesse ist deshalb auch in Zukunft nötig. Die größten Herausforderungen ergeben sich dabei im Bestand, nicht bei Neuplanungen. Dabei sind auch bisherige Standards zu überprüfen und bei Bedarf anzupassen (z.B. Ausgestaltung von Baumrigolen, Gestaltung von Plätzen). Zudem erfolgt ein Austausch mit anderen Kommunen zu diesen Themen statt (z.B. Workshop mit Beiträgen aus Würzburg, Karlsruhe und Mannheim, Vernetzung über das Deutsche Institut für Urbanistik im Rahmen des netWORKS-Kommunalkreis). Es findet demnach ganz klar eine Intensivierung im Bestreben, Nürnberg Stück für Stück zu einer „Schwammstadt" zu entwickeln, statt. Somit wird Nürnberg auch in dieser Hinsicht fit für die notwendigen Anpassungen an die Folgen des Klimawandels gemacht.

2.7.3 Hydrogeologische Strategieplanungen zur Schwammstadt in Nürnberg

(GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen Nürnberg – Prof. Johannes Barth, Dr. Alfons Baier)

Einleitung

Wasser in der Landschaft halten: Dieses ist eine besondere Herausforderung, wenn man diesen zunehmend wichtiger werdenden Anspruch auch auf Städte und deren Umland überträgt. Dies hängt vor allem mit Dürre und Starkregenperioden zusammen, für die viele Städte mit versiegelten Flächen bislang nicht gut gerüstet sind. In Mitteleuropa treten extreme Wetterereignisse mittlerweile in besorgniserregend erhöhten Frequenzen auf [115]. Während Überschwemmungen direkte Schäden anrichten, werden bei Trockenperioden wichtige urbane Grünflächen durch Wassermangel und steigende Temperaturen beeinflusst. EU-Experten befanden, dass 47 % des europäischen Gebiets als von Dürre bedroht angesehen werden muss; darüber hinaus gilt dieser Zustand bereits bei 17 % der Fläche als alarmierend [116].

Auch in Bayern erwiesen sich beispielsweise die im Sommer 2022 viel zu geringen Niederschlagsmengen als verheerend. Im langjährigen Mittel fallen im südlichen Bayern Niederschläge bis 1.100 mm/a, während in der Region um Nürnberg ein langjähriges Niederschlagsmittel von nur 600 mm/a und in Unterfranken sogar weniger als 550 mm/a vorherrschen [117]. Darüber hinaus treten typischerweise langanhaltende, großflächige Niederschlagsdefizite zusammen mit Hitzewellen auf. Diese verursachen neben Auswirkungen auf die Vegetation auch stark verringerte Abflussraten von Flüssen mit ökologischen und technischen Folgen wie fehlende Kühlung. Auch in Nürnberg steigen mit zunehmenden Bebauungsdichten die mittleren Lufttemperaturen an. Dieses wird noch durch die geomorphologische Lage Nürnbergs im Mittelfränkischen Becken verstärkt, wo oft nur mäßiger Luftaustausch stattfindet.



Abbildung 53: Das Schwammstadtprinzip
(Quelle: © Bärbel Rhades, FAU Erlangen Nürnberg)

Im Stadtgebiet erfassen 19 Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), der Stadt Nürnberg und des Landesamtes für Umwelt Bayern (LfU) meteorologische Daten. Nach dem seit 2014 vorliegenden Stadtklimagutachten ist es im Kern der dicht bebauten und von Luft-Leitbahnen abgeschlossenen Lorenzer Altstadt am heißesten. Aber auch andere Stadtteile, wie Gibitzenhof, Steinbühl, Gostenhof, St. Peter und Johannis weisen ähnliche Verhältnisse auf [118]. Darüber hinaus beinhaltet das ca. 800 Hektar große Areal der Nürnberger Süd- und Südweststadt kaum Grünflächen. Beispielsweise entfallen hier im Durchschnitt auf jeden der ca. 93.000 Einwohner nur 2 m2 Grünfläche. Hier wurden auch die wenigen, früher vorhandenen Wasserläufe schon vor vielen Jahrzehnten in unterirdische Kanalisationssysteme verbracht. Diese heute hochverdichteten Stadtteile heizen sich bei starker Sonneneinstrahlung noch stärker auf. Somit gilt vor allem der Süden von Nürnberg als thermisches Belastungsgebiet mit ungünstiger bioklimatischer Situation in den Siedlungsräumen [119].

Klimaentwicklung in jüngerer Vergangenheit

Wie viele andere Städte ist auch Nürnberg eine "Wärmeinsel" mit im Mittel um ca. 3 °C erhöhten Lufttemperaturen. Lokal können diese aber auch mehr als 10 °C betragen. In hoher Dichte auftretende Baumaterialien wie Steine, Betonkörper, Asphalt und Stahl absorbieren hier oberflächennah die Wärme und geben sie in der Nacht wieder ab. Hinzu kommt, dass eine dichte Bebauung den Zustrom kühler Luftmassen aus dem Umland behindert. Windgeschwindigkeiten können sich hier bis zu 50 % verringern, was Wärmestau-Verhältnisse begünstigt [118].

Anpassungen an diese Situationen sind insbesondere im Großraum Nürnberg wichtig. Im langjährigen Durchschnitt liegt in diesem wasserarmen Ballungsgebiet das Niederschlagsmittel mit 637 mm/a deutlich unter dem bundesweiten Mittelwert [96]. Darüber hinaus geriet die Region beispielsweise in 2015 und 2018 mit Niederschlagsmitteln von 440 und 451 mm/a unter erheblichen Wasserstress. Weiterhin hat Nürnberg mit ca. 28.000 Exemplaren nur etwa halb so viele Straßenbäume im Vergleich zu ähnlich großen Städten wie Bremen oder Leipzig [120]. Hinzu kommt, dass Schätzungen zufolge seit 2013 in Nürnberg ungefähr 10 % des Baumbestandes wegen Trockenheit stark bedroht sind (Stand 2019 [121]).

Eine schon etablierte Gegenmaßnahme zur Wasserknappheit in Franken, von der auch Nürnberg profitiert, ist die seit den 1970ziger Jahren bestehende Überleitung von Donau- und Altmühlwässern in das Rednitz-Regnitz-Main-System [50].

Aber auch dieses System kann bei Trockenperioden an seine Grenzen geraten. Daher sind neue Bilanzierungen angebundener Einzugsgebiete für zukünftige Planungen entscheidend.

Konzept der Schwammstadt

Um Extremsituationen zu mildern, sind auch in Nürnberg und dessen Umland innovative Schwammstadt-Konzepte, notwendig. In einer Schwammstadt sollen möglichst viele Elemente das gefallene Niederschlagswasser aufnehmen, um dieses bei Bedarf wieder abzugeben [128]. Typische Elemente hierfür sind Retentionsflächen, Versickerungsrigolen und Mulden, überflutbare Grünflächen, durchlässige Asphaltbeläge oder Versickerungsschächte [123], [124]. Diese sollten auch im Sinne von „blau-grüner Infrastruktur" mit begrünten Gebäuden kombiniert werden [125] (vgl. auch Kapitel 2.6.2).

Im Nürnberger Gebiet können als hierzu aktuelles Beispiel die historischen Wässerwiesen im Rednitzgrund angeführt werden. Diesem Projekt kommt neben ökologischen und kulturellen Aspekten eine weitere Gewichtung zu: Über den gefluteten Wiesengebieten entsteht aufgrund der gesteigerten Evapotranspiration Verdunstungskälte, die zur Abkühlung der Umgebung beiträgt. Gerade im Zusammenhang des Hitzesommers 2022 konnte bei der Verleihung des Nürnberger Umweltpreises die wichtige Rolle des Hauptpreisträgers "Wässerwiesen Rednitztal" hervorgehoben werden [122].

2.7.3.1 Hydrogeologische Untersuchungsmethoden – Grundlage für Schwammstadtkonzepte

Parallel zur Planung von Schwammstadtkonzepten für Einzelprojekte im Stadtgebiet, z.B. im Rahmen der Bauleitplanung, könnten die Stadt Nürnberg und viele Städte und Gemeinden von umfassenden wissenschaftlich begleiteten hydrogeologischen Untersuchungen und Auswertungen profitieren. Dies würde helfen um einerseits mehr über die Effektivität verschiedener Schwammstadt-Maßnahmen im konkreten Umfeld zu erfahren und zum anderen über das gesamte Stadtgebiet zielgerichtet ein Maßnahmenkonzept aufzustellen.

Innovative Ansätze für das Thema Schwammstadt könnten z.B. mobile Versickerungsanwendungen vorsehen, um Planungen dauerhafter und teurer Infrastruktur vorzubereiten oder diese möglicherweise zu ersetzen. So wäre es denkbar, mobile Versickerungsanlagen auf Fußballplätzen und in Parkanlagen mit Techniken aus dem Überflutungsschutz weiter zu entwickeln. Dabei könnten bei Hochwasser herkömmliche Stauanlagen mit Sandsäcken durch schnell und mobil einsetzbare Wasserkissen ersetzt werden (vgl. Abbildung 54). Diese wären auch nützlich, um mobile Voruntersuchungen für Versickerungsstandorte zu liefern. Mobile Experimente dieser Art könnten flexible Voruntersuchungen zu längerfristigen und teuren Baumaßnahmen liefern. Bei solchen Maßnahmen müssten auch nahegelegene Grundwassermessstellen beprobt und mit automatisierten Sonden und Echtzeitübertragung beobachtet werden.



Abbildung 54: Flexibox Wasserkissen für Einsätze von Versickerungsversuchen & Bewässerung.
(Quelle: Flexibox Container GmbH)

Untersuchungen von Grundwasserständen, Wasserqualität und Einsatz von Tracern an neuen Infrastrukturen zur Versickerung und Wasserumsatz sind hierbei notwendige Begleitmaßnahmen. Als Start hierzu eignen sich schon bestehende Baumrigolen und öffentliche Parkflächen, die bereits als Überflutungsgebiete vorgesehen sind.

Bei solchen Maßnahmen wären auch Markierungsversuche wichtig, um Versickerungsverhalten, Fließgeschwindigkeiten, Dispersionsausbreitung oder Mischungsverhältnisse im Untergrund zu verstehen und zu quantifizieren. Anstelle von Salz- und Farbtracer-Versuchen sind hier stabile Isotope des Wassermoleküls besonders geeignet, weil sie sich wegen ihrer ökologischen Unbedenklichkeit besonders für Stadtgebiete gut eignen.

Die Abwandlung von Hausdachentwässerung in die Kanalisation in Richtung Regenwasserversickerung ist eine weitere Maßnahme, die teilweise schon praktiziert wird. Bei solchen Aktionen wären Echtzeit-Datenerhebungen von Bodenfeuchte, Wasserqualität, Klima und Grundwasser wichtig, um interaktive Planungen und Untergrundmodelle für Wasserspeicherung und Bedarf zu ermöglichen. Diese sollten zu neuen Wasserbilanzierungen mit detaillierter Erhebung von Landnutzung führen, um mit Modellierungen ein umfassendes Planungspaket mit Bürgerbeteiligungen in Verbindung mit Aktionen wie Baumbewässerungen zu liefern. Bei allen Maßnahmen zum Wassermanagement sollte auch Qualität und Menge untersucht werden [126]. Beide Faktoren sind für die Bewässerung von Pflanzen entscheidend [124]. So können Straßenabwässer mit erhöhten Salzgehalten und Dachwässer mit Schwermetallen Bedrohungen für die urbane Vegetation darstellen.

Datenerfassungskonzepte

In praxi sollten zunächst detaillierte Erkundungen von Wasserverfügbarkeiten für den Großraum Nürnberg und dessen Umland vorgenommen werden. Lokale und regionale Wasserbilanzen verschieben sich gegenwärtig durch rapide Änderungen von Landnutzungs-, Temperatur- und Niederschlagsmustern, was wiederum auch Wasserverfügbarkeiten in Städten beeinflusst. Ein besseres Verständnis dieser Faktoren hilft die Wirksamkeit von Wasserumsetzung durch Vegetation in und um Städte zu verbessern. In der Stadt sollten Wasserbilanzen mit Kartierungen versiegelter Bereiche und Grünflächen kombiniert werden. Daraus sollen dynamisch anpassbare „Geographic Information System" (GIS)-Karten entwickelt werden. Weiterhin sollten Daten der Wasserversorgung, von Flusspegelständen und Bewässerung mit kontinuierlicher Überwachung von Niederschlägen, Bodenfeuchte und Grundwasser mit einbezogen werden.

Die notwendigen Datenerfassungen sollten idealerweise in öffentlich zugänglichen und dynamisch erweiterbaren Datenbanken münden, welche automatisch visualisiert werden sollten. Neue und kontinuierlich angepasste Wasserbilanzen sollten auch für angrenzende Flusseinzugsgebiete und Übergangszonen zwischen Stadt und Land mit einbezogen werden. Hierbei wären Trennung von Evaporations- und Transpirationsmengen wichtig, um Wasserverfügbarkeiten und Bedarf innerhalb und auch im Umland von Nürnberg zu charakterisieren. Damit sollten detaillierte Wasserbilanzen des urbanen Großraums mit Daten von Niederschlag und Abfluss, inklusive Grundwasserspiegelschwankungen, Brauch- und Abwasserflüssen erstellt werden. In Ballungszentren wie Nürnberg und dessen Umland sind aufgrund Vegetations-, Versiegelungs- und Landnutzungsänderungen ständige Verschiebungen zwischen den Wasserbilanzgrößen Niederschlag, Abfluss, Evaporation, Transpiration und Interzeption zu erwarten. Diese werden in bislang unbekannten Ausmaßen von sich ständig ändernden Verhältnissen von versiegelten Arealen und Grünflächen mit beeinflusst und sollen als Eingabeparameter mit GIS erfasst werden. Für die Messungen von Niederschlägen, Bodenfeuchte und Grundwasserständen sollten weitere Datensammler installiert werden, die Grundlagen für Modellierungen gewährleisten.

Geologische Voruntersuchungen

Für das Konzept Schwammstadt ist es darüber hinaus auch wichtig, die Hintergrundgeologie von Nürnberg und dessen Umland zu charakterisieren. Basierend auf geologischen Karten sowie geophysikalischen Hintergrundinformationen sollte ein zusammenhängendes konzeptionelles geologisches Untergrundmodell für Nürnberg erstellt werden. Hierzu müssten beispielsweise Informationen von Bohrungen und U-Bahnbau ausgewertet werden. Ein Inventar über vorhandene geologische Schichten ist wichtig, um Versickerung und Speicherung zuverlässig planen zu können. Durch ein gut aufgebautes geologisches Untergrundmodell können auch Überflutungsschäden von tieferliegenden Gebäudeteilen, wie Tiefgaragen oder Kellern von Wohnhäusern vermieden werden. Für solche systematischen Erfassungen des Untergrundes mit Schichtenverzeichnis sollten auch vorhandene Daten durch die involvierten Ämter zur Verfügung gestellt werden. Schon jetzt ist klar, dass sich die verschiedenen geologischen Einheiten unterschiedlich gut zur Grundwasserspeicherung eignen. Beispielsweise haben die im Stadtgebiet auftretenden Paläotäler mit durchlässigen Lockersedimenten exzellente Speicherkapazitäten [127]. Diese müssen zunächst nach Herausrechnen oberflächennaher Schichten und überflutungsgefährdeter Gebiete eingegrenzt werden.

Basierend auf diesen geologischen Hintergrundinformationen sollte ein übergreifendes hydrogeologisches Modell erstellt werden. Dies erlaubt Vorhersagen von Grundwasserfließrichtungen, Flurabständen und Speicherkapazitäten, um Grundwasserdynamiken für mögliche Zwischenspeicherung mit einzuplanen. Sowohl Flächenversiegelungen als auch begünstigte Versickerung können Veränderungen der Grundwasserlandschaft hervorrufen. Auswirkungen und Vorhersagen solcher Zusammenhänge sind für Planungen

des Wassermanagements --- inklusive die des Grundwassers --- wichtig. Neue Ansätze mit künstlicher Intelligenz (KI) wären in der Lage, über Algorithmen Echtzeiterfassungen von Grundwasserständen auszuwerten und könnten einfach zu messende Wasserparameter wie die spezifische elektrische Leitfähigkeit als Indikator für die Wasserqualität einsetzen. Damit stünden schnell ablesbare und zeitlich hoch aufgelöste Messungen als kontinuierliches Planungswerkzeug zur Verfügung.

Computermodellierung und Digitalisierung

Für ein numerisches hydrogeologisches Modell für den Großraum Nürnberg sollten hydrogeologische Parameter, wie hydraulische Leitfähigkeiten und Speicherkoeffizienten erhoben werden. Zur Kalibrierung notwendige Informationen, wie Grundwasserspiegel und Flurabstandskarten, sind teilweise aus dem Grundwassermonitoring der Stadt Nürnberg verfügbar [49] [12]. Ein solches hydrogeologisches Modell ist wichtig, um Reaktionen auf veränderte Grundwasserneubildungsraten vorhersagen zu können. Solche Vorhersagen können abschätzen, wie Grundwasser auf Niederschläge und Trockenperioden, geplante Versickerungsmaßnahmen oder versiegelnde Baumaßnahmen in Raum und Zeit mit Wasserständen und Fließrichtungen reagiert.

Daran gekoppelt ist auch ein Bodenwasserhaushaltsmodell wichtig. Dieses sollte Parameter wie Versickerung, Bodenbeschaffenheit und Vegetation mit einbeziehen. Zusammen mit Ergebnissen von veränderten Wasserbilanzen und einem hydrogeologischen Modell können damit Reaktionen auf geänderte Niederschlags- und Versickerungsverhältnisse vorhergesagt werden. Hierzu müssen Porositäten des Untergrundes und hydraulische Durchlässigkeiten sowie Grundwasserstände, Vegetationsmuster, Versiegelungsgrade und Niederschlagsmengen erfasst werden. Die Bodenbeschaffenheit kann aus Bohrprofilen und Erkundungen per Pürckhauer-Handbohrgerät erfasst werden.

Kontinuierlich erhobene Daten zur Bodenfeuchte können durch neu entwickelte Bodenfeuchtesensoren per automatischer Erfassung zur Verfügung gestellt werden. Zur Datenverarbeitung können neue Methoden des maschinellen Lernens eingesetzt werden, um Zusammenhänge zwischen meteorologischen Ereignissen und der Verteilung von den Wassermengen im Boden und im tieferen Untergrund zu erkennen. Hierzu sind die Echtzeit-Beobachtungen der Bodenfeuchte durch ein Monitoring-Netzwerk mit einer „Internet of Things“ (IoT) Architektur möglich. Diese zeitlich hochaufgelösten Daten werden hierbei durch innovative, KI-gestützte Zeitreihenanalysen methodisch ausgewertet. Die Einbindung dieser Daten in Modelle bietet neuartige Vorhersage- und Planungswerkzeuge.

Sowohl an das Bodenwasserhaushaltsmodell als auch an das hydrogeologische Modell sollten wiederum Wasserbilanzen und Vegetationsmuster rückgekoppelt werden, um dynamische Entscheidungswerkzeuge für urbanes Wassermanagement zu liefern. Dies zeigt auch, dass Modelle nicht separat voneinander betrieben, sondern auf einer Skala der Stadtgröße Nürnbergs gekoppelt werden sollten. Komplexe Zusammenhänge aus großen Datenmengen, die nur schwer durch Menschen erkennbar sind, können so analysiert und für Vorhersagen genutzt werden. Simultane Erfassung leicht zu messender Parameter, wie etwa Temperaturverläufe oder Niederschlagsmengen, können somit urbanes Wassermanagement verbessern.

Schließlich wäre es sinnvoll, Ergebnisse nutzbar zu veröffentlichen und Bürger aktiv in das Thema Schwammstadt mit einzubinden [128]. Dies könnte beispielsweise durch Baumpatenschaften mit Nutzung von Dachwasser zur Bewässerung erreicht werden. Hierzu sollen digitale Karten von Bodenfeuchte, Wasserbedarf und Qualität mit Echtzeitdaten auf einer Internetplattform Erfolge zu Bewässerungsstrategien vermitteln. Neben dem realen Zweck, Stadtbäume zu erhalten, kann durch Bürgerbeteiligung öffentliches Verständnis für das Konzept Schwammstadt geweckt werden. Fachgerechte Bewässerung von Bäumen ist hierbei ein komplexes Thema für sich und sollte über langsame Versickerung sowie mit direkter Wasserzuführung in den tieferen Wurzelraum gewährleistet werden.

2.7.3.2 Hydrologische Untersuchungen zur Nutzung eines vorhandenen Wasserspeichers in Nürnberg – der Alte Kanal

Um die Wasserversorgung in Deutschland auch in Zukunft zu sichern, beschloss die Bundesregierung am 15. März 2023 eine "Nationale Wasserstrategie". Dieses Aktionsprogramm beinhaltet rund 80 Maßnahmen: Hierbei soll auch die Wasserspeicherung in den Kommunen verbessert werden und eine bundesweite Leitlinie für den Fall einer Wasserknappheit vorbereitet werden [129].

Neben einer vorangetriebenen Begrünung der Stadt verschaffen vor allem offene Wasserflächen durch ihre Verdunstung Abkühlung der Luftmassen. Allerdings wird auch heute noch in einem Großteil des Stadtgebiets aufgrund der allgemeinen Flächenversiegelung der Hauptanteil des gefallenen Niederschlags ungenutzt in die Kanalisation abgeleitet [118]. Generell weisen Still- und Fließgewässer im Vergleich zu Böden auf Locker- oder Festgesteinen – bezogen auf die Fläche – die größten Wasseraufnahme- bzw. Wasserspeicherungspotentiale auf. Diese Gegebenheit soll hier am Beispiel des historischen Ludwig-Donau-Main-Kanals verdeutlicht werden.



Abbildung 55: Eine der typischen LDM-Kanalschleusen bei Randeck/Altmühltal (oben) und der Distellochdamm mit dem Ludwig-Donau-Main-Kanal, 1 km SE' Burgthann/Lkr. Nürnberger Land (unten). Kolorierte Stahlstiche von Alexander Marx, Kupferstecher in Nürnberg (1848).

Kurze geschichtliche Abhandlung des Ludwig-Donau-Main-Kanals

Der Bau des Ludwig-Donau-Main- (LDM-) Kanals weist eine bis in das Frühmittelalter zurückreichende Planung und Baugeschichte auf. Bereits Karl der Große hatte im Jahr 793 mit dem Bau einer schiffbaren Verbindung zwischen Rezat und Altmühl begonnen. Diese "Fossa Carolina" scheiterte jedoch an den geologisch anspruchsvollen Geländebedingungen und den damals vorherrschenden, sehr ungünstigen Witterungsverläufen. Die heute noch beeindruckenden Zeugnisse des "Karlsgraben" sind nördlich der Ortschaft Graben 2.600 m nordöstlich von Treuchtlingen in Form einer rund 600 m langen, großenteils noch gefluteten Kanaltrasse mit seitlichen Dämmen aufgeschlossen. Das nicht vollendete Bauwerk sollte die zum Rhein-/Main-System gehörende Schwäbische Rezat und die zur Donau fließende Altmühl an der Stelle, bei welcher die beiden Flüsse sich auf eine Distanz rund 1.900 m annähern verbinden [130].

Nachdem während des gesamten Mittelalters keine weiteren, ähnlich gelagerten Projekte verfolgt wurden, regte man erst wieder im 17. und im 18. Jahrhundert weitere Planungen eines das Donau-/Altmühl-System und das Rhein-/Main-System verbindenden Kanalbauwerks an. So wurde beispielsweise zu Beginn des 19. Jahrhunderts erkannt, dass es am erfolgversprechendsten sei, die Fließgewässer Altmühl und Roth miteinander zu verknüpfen. Die Napoleonischen Kriege führten jedoch zur Zurückstellung all dieser Kanalprojekte [131].

Mit der Thronfolge Ludwig I. in 1825, nahm die Idee der Verbindung des Rhein-/Main- und des Altmühl/Donau-Systems wieder konkrete Formen an. Der hierzu eingesetzte Baurat Pechmann ließ ein genaues Nivellement der von ihm festgelegten Kanaltrasse durchführen. Auf dieser 173 km langen Strecke von Kelheim bis Bamberg wurde ein Höhenunterschied von 183 m festgestellt. Von Kelheim bis zur Scheitelhaltung bei Neumarkt/Opf. wurden 32 Schleusen und von dort über Nürnberg bis Bamberg 68 Schleusen als notwendig erachtet (Abbildung 55 oben). Weiterhin sollten für die Kanaltrasse insgesamt 70 Dämme (Abbildung 55 unten) sowie 60 Geländeeinschnitte angelegt und 117 Brücken gebaut werden [130], [132].

1836 begannen die auf sechs Jahre veranschlagten Arbeiten an sieben verschiedenen Örtlichkeiten gleichzeitig, wobei zeitweise bis 9.000 Arbeiter beschäftigt wurden. Bereits Ende 1839 waren die Erdarbeiten nahezu vollständig beendet. Der Bau der Kanalschleusen konnte im Jahre 1840 zum Abschluss gebracht werden. Weiterhin waren auf den Kanaldämmen zum Erosionsschutz ausgedehnte Grasflächen angelegt sowie rund 40.000 Obstbäume gepflanzt worden. Der im Jahre 1847 eingeweihte LDM-Kanal überschreitet S' Neumarkt/Opf. die Donau-Main-Wasserscheide, die sich als eine bei 419 m NN gelegene Talwasserscheide darstellt.

Der fertiggestellte LDM-Kanal wurde auf seiner Gesamtlänge von 177,645 km durch insgesamt 100 Schleusen unterteilt. Hierbei wiesen die Schleusenkammern einheitliche Dimensionierungen auf (Abbildung 56): Die Schleusenkammern erhielten die Weite von 4,67 m und die Länge von 34,15 m, wobei durch ein von dem unteren Schleusentor um 5,84 m entferntes Zwischentor diese Kammern in zwei Tore geteilt sind [133]. Durch dieses dritte Schleusentor konnte die Kammer auf 28,31 m verkürzt werden, was bei der Schleusung von kürzeren Schiffen eine Wasserersparnis ermöglichte. Die Wassertiefe der Schleusen (Abbildung 57) betrug im Unterwasserbereich 1,76 m, die durch die Schleusen zu überwindende Fallhöhe im Nürnberger Raum 2,93 m.

Die im Nürnberger Gebiet großflächig ausstreichenden Sandböden (vgl. Karte 43) machten die Auskleidung der Kanal-Seitenwände oder der Uferböschungen mit wasserdichtem Ton notwendig. Der Kanal war an der Oberfläche 15,76 m und an der Sohle 9,92 m breit und hatte eine Tiefe von 1,46 m. Dieser Tiefe wurde wegen Sorge um zukünftige Verschlammung weitere 15 cm zugegeben [133]. Anlegestellen, wie die großen Hafenbecken oder die kleineren Becken der "Länden" waren für den Güterumschlag bestimmt. Im Großraum von Nürnberg sind hiervon die Wendelsteiner und die Worzeldorfer "Lände" sowie in Nürnberg der noch in Rudimenten vorhandene, heute trockenliegende Hafen zwischen der Schwabacher und der Rothenburger Straße erhalten geblieben [134].

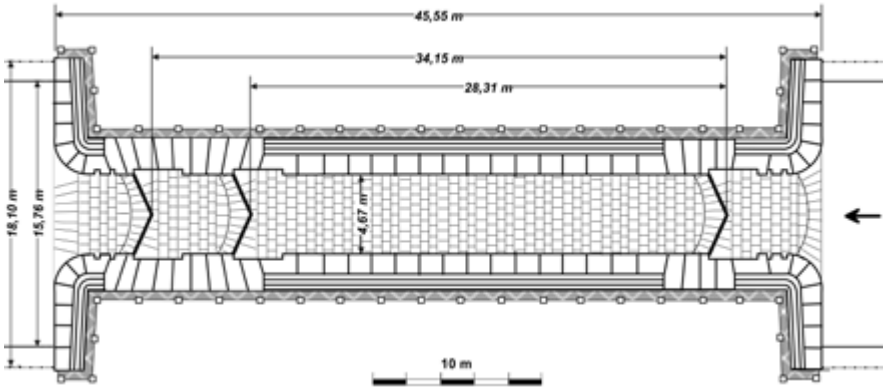


Abbildung 56: Grundriss einer Schleuse des LDM-Kanals nördlich der Scheitelhaltung. Umgezeichnet und ergänzt nach einer Aufnahme des Wasserstraßenamtes Nürnberg vom 26. Juli 1945 *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

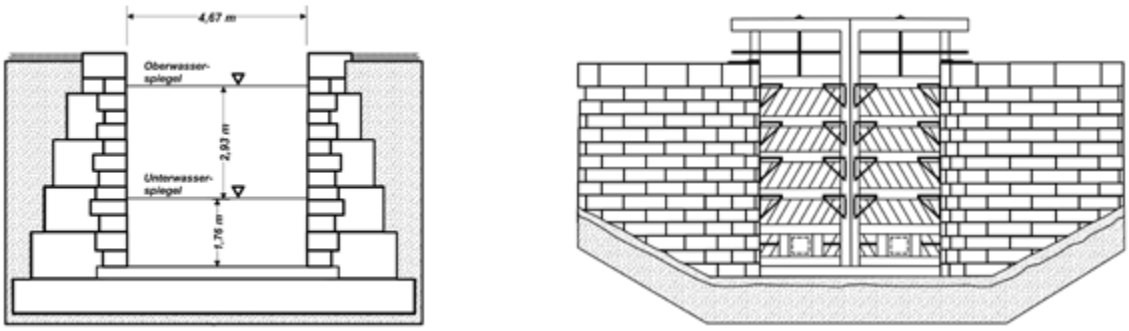
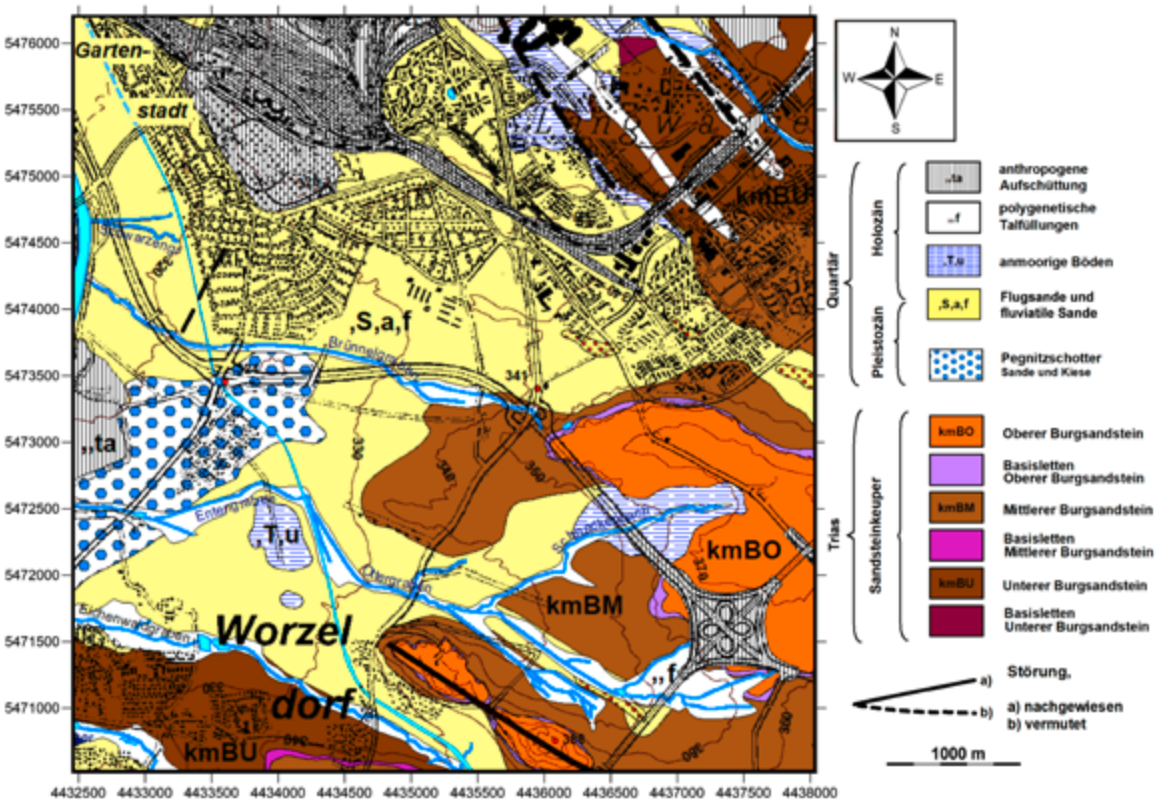


Abbildung 57: Regelplan einer Schleuse des LDM-Kanals: Querschnitt der Schleusenkammer (links) und Ansicht am Unterhaupt (rechts). Umgezeichnet und ergänzt nach einer Aufnahme des Wasserstraßenamtes Nürnberg vom 26. Juli 1945 *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*



Karte 43: Geologische und hydrographische Karte des Modellgebiets zwischen der Gartenstadt und Rangierbahnhof/Nürnberg im N und Worzeldorf im S mit dem LDM-Kanal sowie den Oberflächengewässern. Erstellt nach Angaben von FUCHS (1956), BERGER (1978, 1979) sowie BAER (2011)
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Der gesamte LDM-Kanal wurde am 15. Juli 1846 mit der festlichen Enthüllung des Denkmals am Erlanger Burgberg offiziell eingeweiht. Jedoch erwies sich das staatliche Kanalbau-Unternehmen in den folgenden Jahrzehnten zunehmend als wirtschaftlich schwierig. Gründe hierfür waren vor allem die zu geringe Breite des Kanals und die Konkurrenz des rasch anwachsenden Eisenbahnnetzes. Lediglich für die lokale Beförderung von Holz und Steinen wurde der Ludwig-Donau-Main-Kanal weiterhin bevorzugt genutzt. 1945 wurde der LDM-Kanal durch Luftangriffe vor allem im Nürnberger Stadtgebiet stark in Mitleidenschaft gezogen. Die Schäden des II. Weltkriegs konnten zwar rasch behoben werden, aber trotzdem wurde der "Alte Kanal" im Jahr 1950 gänzlich aufgelassen [130]. In der Zwischenzeit nahm sich die Bevölkerung des LDM-Kanals auf besondere Weise an. Schon vor 1900 erfreute sich der „Alte Kanal" einer intensiven touristischen und freizeitlichen Nutzung, wobei die das Kanalbett begleitenden alten Treidelwege bei Wanderern und Radfahrern sehr beliebt sind. Heute gilt der „Alte Kanal" als ein wichtiges Naherholungsgebiet von Nürnberg [135].

Der heutige "Alte Kanal"

Der LDM-Kanal ist bis zum heutigen Tag nur streckenweise erhalten geblieben. In jüngerer Vergangenheit wurde hauptsächlich zwischen Bamberg und Nürnberg der größte Teil des Kanalbettes aufgelassen. In den 1960er und 1970er Jahren überbaute man die Trasse des alten LDM-Kanals mit anderen Verkehrswegen, so zwischen Forchheim/Ofr. und Nürnberg/Finkenbrunn mit dem "Frankenschnellweg" (A 73).

Südlich von Nürnberg blieb jedoch der alte Ludwigskanal bis in die Gegend von Beilngries weitgehend erhalten. Neben kleineren, noch wasserführenden Kanalstrecken existiert eine durchgehende, permanent geflutete Wasserhaltung über eine Distanz von 65 km von Planckstetten/Beilngries bis zum Finkenbrunn westlich der Gartenstadt von Nürnberg [134].

In das Stadtgebiet von Nürnberg tritt der LDM-Kanal am östlichen Ortsrand von Worzeldorf, unmittelbar südöstlich der teilweise mit der Staatsstraße 2406 überbauten Schleuse 67, ein. Im weiteren Abstrom folgen die "Lände" von Worzeldorf (Abbildung 58) mit ihrem historischen Lastkran der Firma Späth sowie unmittelbar anschließend die restaurierte Schleuse 68 [134]. Zwischen den Schleusen 69 und 70 erstreckt sich die nach dem Familiennamen des hier bis ca. 1975 ansässigen Kanalwärters benannte „Scheller-Haltung" (Abbildung 59) mit einer Länge von 785 m.



Abbildung 58: Das Hafenbecken der "Lände" in Worzeldorf mit der mustergültig restaurierten LDM-Schleuse 68 *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*



Abbildung 59: Die LDM-Kanalschleuse 70 im noch originalem Ausbauzustand und die SSE' anschließende "Schellerhaltung" vor der Ausbaggerung und Entschlammung im Jahre 1984 *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*



Abbildung 60: Der Ottergraben-Leitgraben mit seiner Einmündung in den LDM-Kanal unterhalb der Schleuse 70 *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

Hier ist bis zur Schleuse 70 ein typisches, bis heute funktionales Leitgrabensystem zur Wasserversorgung des Kanals aufgeschlossen. Diese sogenannten Leitgräben wurden und werden zur natürlichen Auffüllung und Ergänzung der Wassermassen im LDM-Kanal verwendet. Das aus Fließgewässern der näheren hydrologischen Umgebung abströmende Wasser wird hier über die höhengleichen Leitgräben teilweise abgezweigt dem Kanal zugeführt [134].

Das Vorflutersystem des Schnackenbach/Ottergraben mit dem westlich des LDM-Kanals anschließenden Entengraben dient im südöstlichen Stadtgebiet von Nürnberg bis heute zur Wasserversorgung des LDM-Kanals (Abbildung 60). Es weist bis zur Kanalschleuse 70 eine Gesamtlänge von 9.431 m auf und umfasst die – größtenteils in den Forstgebieten des Südlichen Nürnberger Reichswaldes gelegenen – Einzugsgebiete III, IV, V und VI mit insgesamt 7,796 km^2 (Karte 44).

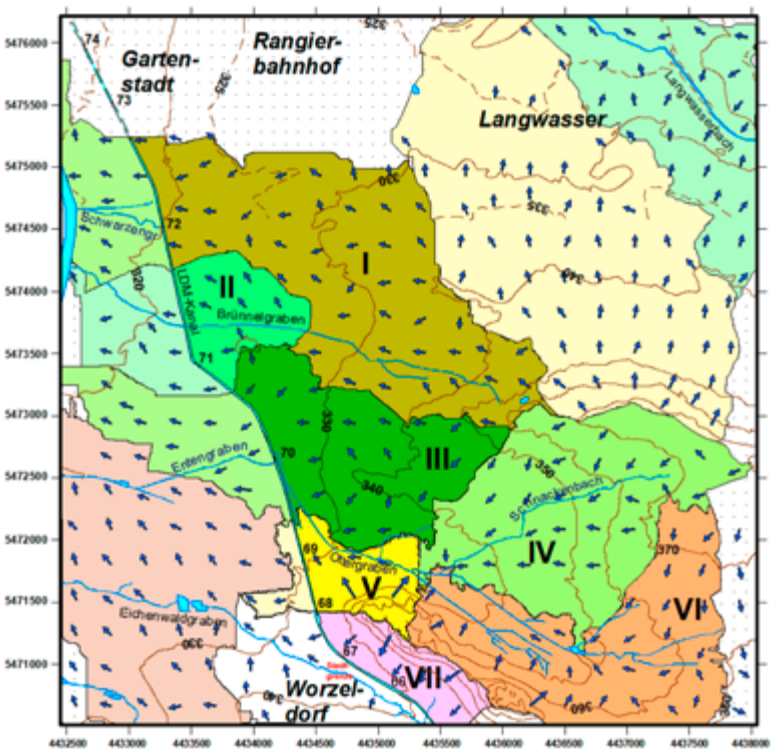
An der Schleuse 70 ist auch ein typischer "Grundablass" aufgeschlossen. Hierdurch können überschüssige Wassermengen entweder selbsttätig durch Überlauf oder aktiv mittels Schürzen in den Vorfluter abgeführt werden. Selbst eine vollständige Entleerung der jeweiligen Kanalhaltungen wird hierdurch ermöglicht [136]. Diese Zwangsentlastung und der Grundablass in den darunterliegenden Ottersgraben- / Entengraben-Durchlass befindet sich nahe der Schleuse 70: Hier stellt eine gemauerte Nische mit zwei Schürzen den noch heute funktionalen Grundablass dar, wobei über eine Ventilabsperrung überschüssige Wassermengen in den Vorfluter abgegeben werden können.

Nordwestlich der Schleuse 71 wurde der LDM-Kanal mit dem Damm des Frankenschnellwegs (A 73) überbaut. In diesem rund 240 m langen Abschnitt verläuft der Kanal heute unterirdisch. Im weiteren Abstrom folgt das 1.730 m lange, wasserführende Kanalbett mit Schleuse 72 und der Bogenbrücke westlich der Nürnberger Gartenstadt. Am Ende dieses Kanalabschnitts wird das Kanalwasser unterirdisch zum Main-Donau-Kanal abgeleitet [134].

Nördlich der Straße Finkenbrunn lässt sich das verfüllte Kanalbett noch als 990 m lange Parkanlage verfolgen. Hier können in der Wiese von der nunmehr verfüllten Schleuse 73 die Mauerköpfe der Schleusenkammer gefunden werden. Die nördlich anschließende Schleuse 74 wurde großenteils mit einem Spielplatz überbaut. An der Minervastraße enden die obertägig sichtbaren Zeugnisse des LDM-Kanals. Hier schwenkt der Frankenschnellweg auf die alte Kanaltrasse ein und behält diese Richtung bis Forchheim/Ofr. bei [134].

Die mögliche Ertüchtigung des historischen LDM-Kanals als Wasserspeicher

Der alte Kanal tritt südöstlich von Worzeldorf in das Untersuchungsgebiet ein und passiert an dessen Ortsrand – nur 70 m oberhalb der Schleuse 67 – die Stadtgrenze von Nürnberg. Er verläuft hier bereits in den Schichten des Unteren Burgsandsteins, während der überlagernde Mittlere Burg-



Karte 44: Karte des LDM-Kanals mit den Schleusen 66 bis 74, den Vorflutern mit Leitgräben sowie den modellierten Oberflächen-Abflüsse der Niederschlagswässer im Modellgebiet zwischen der Gartenstadt und Rangierbahnhof/Nürnberg im N und Worzeldorf im S. Die einzelnen Teil-Einzugsgebiete I bis VII E' des LDM-Kanals mit Abstromrichtungen und den Einzugsgebieten der Oberflächengewässer sind zur besseren Unterscheidungsmöglichkeit mit kräftig gehaltenen Farbtönen hinterlegt *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

sandstein den unmittelbar nordöstlich angrenzenden Wendelstein-Worzeldorfer Höhenzug aufbaut (Karte 43).

Der Untere Burgsandstein setzt im Liegenden mit dem charakteristischen, 2 m bis 4 m mächtigen, grünvioletten bis gelblichen, sandigen Basisletten ein. Über diesen "Grenzletten" steht die sandig entwickelte „Nürnberger Fazies" an, welche sich im Gelände auch morphologisch von den unterlagernden Schichten abhebt. Die fein- bis mittelkörnigen, seltener grobkörnigen, hellgrauen, gelblichen und rötlichen Sandsteine führen neben gut gerundeten Quarzen auch Feldspäte. Den massigen bis bankigen Sandsteinen sind mehrfach lokale Lettenlagen zwischengeschaltet [137]. Die Mächtigkeit dieses Sandsteinkomplexes beträgt rund 25 m. Im Liegenden folgt das 12 bis 15 m mächtige Schichtpaket des Coburger Sandsteins mit gelegentlich zwischengeschalteten Lettenlagen. In den oberen Partien des Coburger Sandsteins steht im Nürnberger Gebiet der weißgraue, leicht verwitterbare Stubensandstein an. Er besteht aus überwiegend grauen Sandsteinen mit sandigen Lettenlagen [138].

Im weiteren Verlauf nach NNW verläuft die LDM-Kanaltrasse überwiegend in den hier bis 6 m mächtigen, quartären Lockersedimenten äolischer und fluviatiler Sande. Im Bereich des „Weißen Häusle" an der Schleuse 71 (Abbildung 61) liegen den Festgesteinen die pleistozänen Sande und Kiese der „Pegnitzschotter" auf (Abbildung 62). Jenseits der Saarbrückener Straße/Marthweg in Richtung Nordwesten überquert der Kanal das über 20 m in die Keuperschichten eingetiefte „Paläotal I" (Karte 43). Dieses wohl während des pleistozänen Cromer-Komplexes gebildete „Urtal" ist mit reinen, gut wasserdurchlässigen Sanden und kiesigen Lagen mit gelegentlichen Gerölllagen verfüllt; tonige Bestandteile treten selten auf [127]. Insgesamt unterstreicht die hier in den wasserdurchlässigen Lockersedimenten erfolgte historische Kanaltrassengründung die damalige Notwendigkeit, die Kanal-Seitenwände und Uferböschungen mit wasserdichten Tonen auszukleiden [139].



Abbildung 61: Der rund 530 m lange Teil der LDM-Kanalhaltung SE' der Schleuse 71 beim "Weißen Häusle" am Marthweg/Nürnberg *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

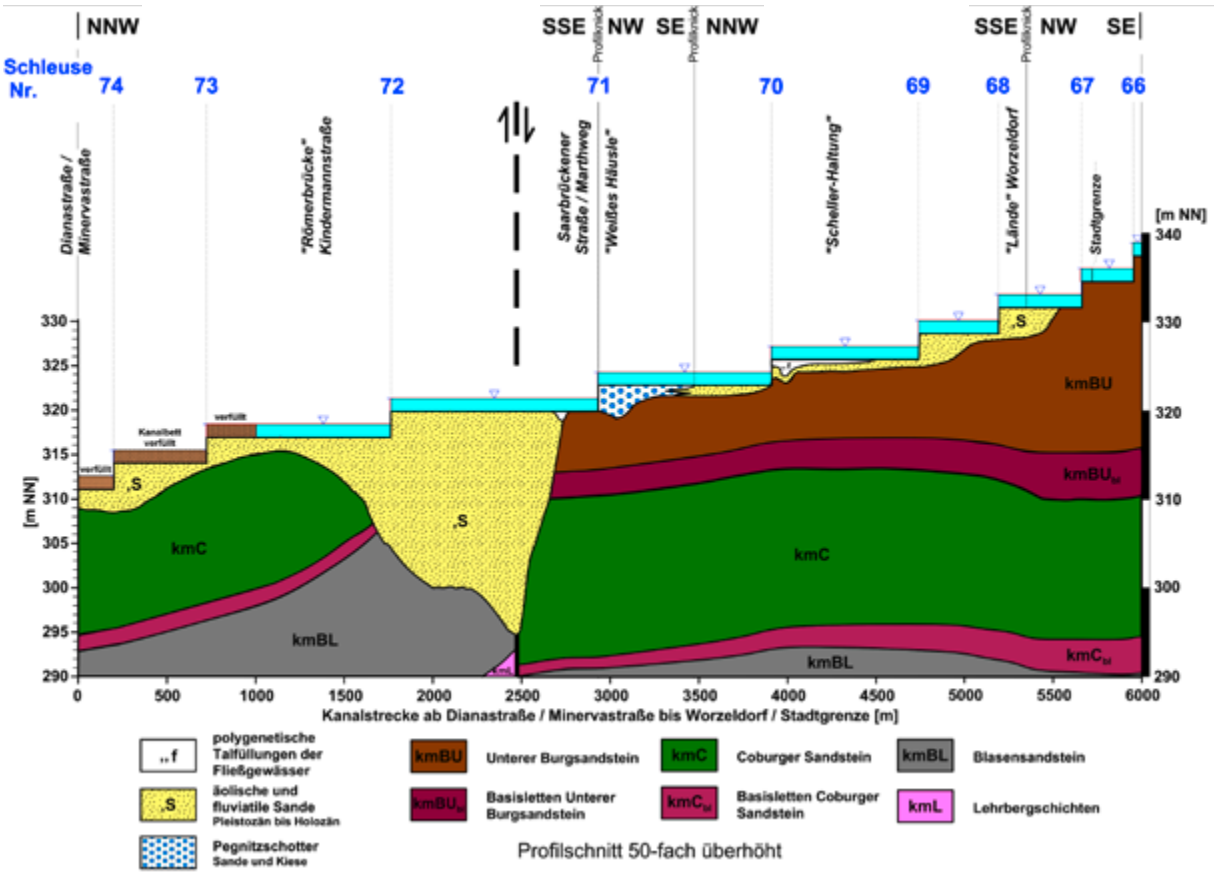


Abbildung 62: Längen- und Höhenprofil des Ludwig-Donau-Main-Kanals zwischen Diana-/Minervastraße in der Nürnberger Südstadt und der Stadtgrenze E' Worzeldorf; 50-fache Überhöhung. Erstellt nach Angaben von FUCHS (1956), BERGER (1978, 1979), BAIER (2011) sowie Bohrverzeichnissen des LfU Bayern *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

Zur Auffüllung und Ergänzung der Wassermassen im LDM-Kanal werden damals wie heute die sogenannten Leitgräben verwendet. Obwohl der Hauptteil der Wasserversorgung des alten Kanals aus der Neumarkter Gegend erfolgt, soll im Folgenden das im südöstlichen Stadtgebiet von Nürnberg gelegene Vorfluter-Einzugsgebiet des Schnackenbach/Ottergraben östlich des LDM-Kanals aufgezeigt werden.

Hierzu wurden anhand eines hochauflösenden 3D-Geländemodells die Oberflächen-Abflussrichtungen der Niederschlagswässer in die Vorfluter simuliert, welche schließlich über die Leitgräben bis heute zur Wasserversorgung des LDM-Kanals dienen (Karte 44). Das Schnackenbach/Ottergraben-System weist bis zur Kanalschleuse 70 eine Gesamtlänge von 9.431 m auf und umfasst die – hauptsächlich in den Forstgebieten des Reichswaldes gelegenen – Einzugsgebiete III, IV, V und VI mit einer Gesamtfläche von 7,796 km². Weiter im Norden stehen noch die Einzugsgebiete I und II des Brünnelgraben sowie des Schwarzengraben mit einer Gesamtfläche von 4,508 km² an, welche aber heute weitgehend trockengefallen sind. Schließlich existiert noch im Süden das kleine Einzugsgebiet VII, welches aber dem heutigen Kanalisationsgeschehen der Ortschaft Worzeldorf unterworfen ist. Tabelle 13 listet die Flächen der jeweiligen Einzugsgebiete.

Einzugsgebiet:	Fläche [m²]:
I	3.776.404
II	731.119
III	1.904.710
IV	2.781.166
V	593.877
VI	2.516.430
VII	577.101
Summe [m²]:	12.880.807

Tabelle 13: Die Vorfluter-Einzugsgebiete östlich des LDM-Kanals im Südlichen Nürnberger Reichswald *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

Im Frühjahr 2023 wurden exemplarisch in verschiedenen Kanalhaltungen Tiefenmessungen vorgenommen. Dies zeigte, dass die heutigen Wassertiefen infolge Verlandung zwischen 0,54 m (Abbildung 63 oben) und 1,56 m liegen (Abbildung 63 unten). Dies hat einen entscheidenden Einfluss auf die in den jeweiligen Kanalstrecken enthaltenen Wasserkörper-Querschnitte (Diagramm 51) und in Abhängigkeit zu den Längen der Kanalhaltungen auf die enthaltenen Wasservolumina (Tabelle 14).

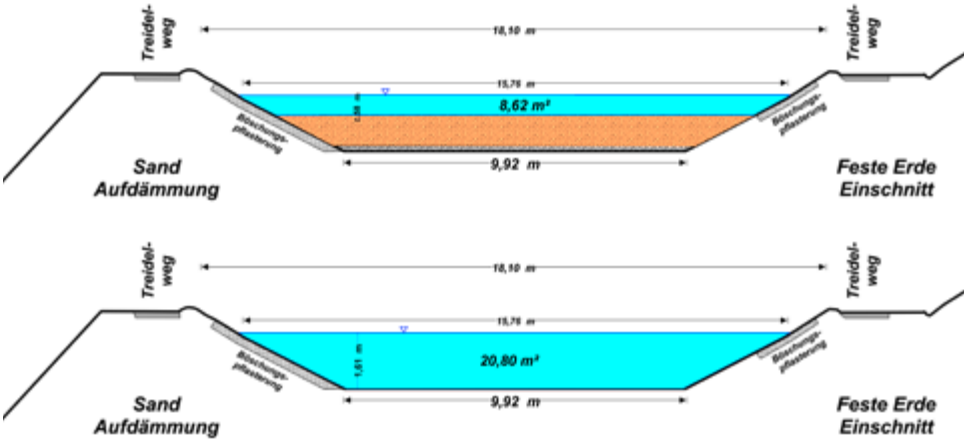


Abbildung 63: Regelquerschnitt des Kanalbetts des LDM-Kanals mit den Wasserflächen bei 1,61 m Wassertiefe (unten) und -- im nahezu verlandeten Zustand -- bei lediglich 0,58 m Wassertiefe (oben). Kanalprofil und Abmessungen n. PECHMANN (1846) und n. SCHULTHEIS (1847)
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

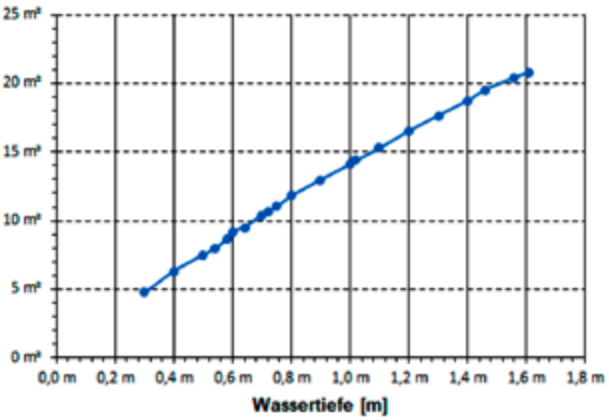


Diagramm 51: Beziehungen zwischen Wasserkörper-Querschnittflächen und unterschiedlichen Wassertiefen des LDM-Kanalbetts (Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Tabelle 14 zeigt, dass die – aufgrund unterschiedlich starker Verlandungsgeschehen – verschieden tiefen Kanalstrecken differente Wasservolumina beinhalten. Die geringsten Wassermengen weist die, nur teilweise zum Nürnberger Stadtgebiet gehörende, 309 m lange und lediglich 0,75 m tiefe Kanalhaltung 66 – 67 mit 3.411 m³ auf. Das größte Wasservolumen beinhaltet die 785 m lange und 1,02 m tiefe Haltung 69 – 70 mit einer Wassermenge von 11.320 m³. Insgesamt ist aktuell in den LDM-Kanalstrecken zwischen Schleuse 66 und dem Kanalende nördlich der Schleuse 72 eine Wassermenge von 53.824 m³ enthalten.

Um den Verlandungsgeschehen im Industriedenkmal Ludwig-Donau-Main-Kanal entgegen zu wirken und auch seine vielfältigen ökologischen Wertigkeiten auch als naturnahes Fischgewässer zu bewahren, fanden bereits in den 1980er Jahren sowohl im Raum Neumarkt/Opf. als auch in der „Schellerhaltung"/Nürnberg sowie in jüngerer Vergangenheit im Bereich der Worzeldorfer „Lände" umfangreiche Ausbaggerungs- und Entschlammungsmaßnahmen statt. So wurden in den Jahren 1983 / 1984 in der „Schellerhaltung" tiefgreifende Entschlammungsmaßnahmen durchgeführt, um diese 785 m lange Kanalstrecke vor der endgültigen Verlandung zu bewahren. Damals wurde die ursprüngliche Wassertiefe von rund 1,6 m wiederhergestellt. Bemerkenswert ist, dass sich bis heute die Wassertiefe wieder auf 1,02 m verringerte. Dies entspricht einer mittleren Sedimentationsrate von ca. 1,5 cm/a.

Praktische Erfahrungen konnten in jüngster Vergangenheit mit der erfolgreichen Entschlammung des „Wöhrder Sees" in Nürnberg sowie mit der Entfernung der bis 0,4 m mächtigen Sedimentablagerungen im Altmühlsee gewonnen werden. Bei der letzteren Maßnahme war die Sedimententnahme mittels Saugbagger notwendig, um eine Verlandung des Sees zu verhindern und damit auch Nährstoffe, insbesondere das an Sediment gebundene Phosphor, zu entfernen. Mit dieser Maßnahme sollte auch potentiellem Algenwachstum entgegengewirkt werden.

Angaben des WWA Ansbach bestätigten, dass die entnommenen Materialien problemlos zur landwirtschaftlichen Bodenmelioration verwertet werden können. Durch umsichtige Vorgehensweise wurden anfängliche Fehler, wie sie bei den in den 1980er Jahren durchgeführten Entschlammungsmaßnahmen des LDM-Kanals im Raum Berg/Opf. auftraten, vermieden. Die seinerzeitigen Arbeiten wurden teilweise mit einem Hydraulik- und auch mit einem Saugbagger durchgeführt, wodurch Flora und Fauna stark geschädigt wurden. Ein Kontrollbefund ergab, dass damals eine große Anzahl der unter Natur- und Artenschutz stehenden Teichmuscheln (Anodonta cygnea) sowie Hunderte von Rhizomen der gelben Teichrose (Nuphar luteum) vernichtet wurden [140].

Würde nun in allen Nürnberger LDM-Kanalstrecken und Schleusenkammern zwischen der Schleuse 66 und dem Kanalende südlich von Finkenbrunn die ursprüngliche Regel-Kanaltiefe von 1,61 m sowie die Mindestwassertiefe von 1,76 m in den Schleusenkammern wiederhergestellt, so könnte die Kanalstrecken insgesamt eine Wassermenge von 97.127 m³ aufnehmen. Dies entspräche gegenüber dem jetzigen Zustand einem Wassermengen-Zugewinn von 43.303 m³ (+81 %).

Die Funktion des LDM-Kanals als Wasserspeicher kommt bereits durch den ständigen Zufluss aus den höher gelegenen Kanalhaltungen der Scheitelhaltung bei Neumarkt/Opf. samt den dortigen Leitgräben zur Geltung. Im Nürnberger Stadtgebiet zielt die historische Trassenführung des „Alten Kanals" direkt in das dicht bebaute Gebiet der Südstadt, so dass hier eine Grundwasserspeisung oder direkte Entnahme des Kanalwassers zur Bewässerung während Trockenperioden sehr effektiv zur Geltung kommen könnte. Weiterhin wäre es für zukünftige Planungen denkbar, im Bereich des an die „nasse" Kanalstrecke anschließenden, insgesamt über 1.000 m langen und heute verfüllten Kanalbetts nördlich der Straße Finkenbrunn in der dort verlaufenden Parkanlage unterirdische Wasserspeicher und somit weitere Rückhalteräume zu installieren. Geschätzt könnten somit weitere 20.000 m³ Wasser gespeichert werden. Insgesamt könnte der altehrwürdige Ludwigskanal somit wichtige und neue Funktionen als exemplarisches Beispiel für Wasserrückhalt, Grundwassererneuerung und mikroklimatische Verbesserungen eines dichtbesiedelten urbanen Gebiets in Zeiten der Stadterwärmung darstellen.

Streckenlängen und Volumina — "Alter Kanal"

	Länge der Haltung bzw. Länge der Schleuse [m]:	heutige Wassertiefe in der Haltung [m]	Schleusen- bzw. Lände-Fläche [m²]	Querschnitt Kanal-Wasserkörper bei gemessener Wassertiefe [m²]	Wasservolumen bei aktueller Wassertiefe [m³]	Wasservolumen bei maximaler Wassertiefe von 1,61 m (Kanal) bzw. 1,76 m (Schleuse) [m³]
Resthaltung verfüllt 74-75	200,1 m	" --- "				
Schleuse 74	45,6 m	" --- "				
Haltung verfüllt 73 - 74	479,4 m	" --- "				
Schleuse 73	45,6 m	" --- "				
Haltung verfüllt 72 - 73	278,1 m	" --- "				
Haltung geflutet 72 - 73	**712,3 m**	**0,54 m**		**7,96 m²**	**5.670 m³**	**14.816 m³**
Schleuse 72	**45,6 m**	**0,54 m**	**212,7 m²**		**115 m³**	**374 m³**
Haltung 71 - 72	**902,6 m**	**0,72 m**		**10,68 m²**	**9.640 m³**	**18.774 m³**
unterird. Abschnitt unter A_73	**219,0 m**	**0,70 m**			**230 m³**	**230 m³**
Schleuse 71	**25,9 m**	**0,70 m**	**121,0 m²**		**85 m³**	**213 m³**
Haltung 70 - 71	**934,9 m**	**0,64 m**		**9,49 m²**	**8.872 m³**	**19.446 m³**
Schleuse 70	**45,6 m**	**0,64 m**	**212,7 m²**		**136 m³**	**374 m³**
Haltung 69 - 70	**785,0 m**	**1,02 m**		**14,42 m²**	**11.320 m³**	**16.328 m³**
Schleuse 69	**45,6 m**	**1,02 m**	**212,7 m²**		**217 m³**	**374 m³**
Haltung 68 - 69	**401,8 m**	**0,58 m**		**8,62 m²**	**3.464 m³**	**8.357 m³**
Schleuse 68	**45,6 m**	**0,58 m**	**212,7 m²**		**123 m³**	**374 m³**
Lände Worzeldorf	**74,3 m**	**1,56 m**	**2050,0 m²**		**3.198 m³**	**3.301 m³**
Haltung 67 - 68	**349,2 m**	**1,56 m**		**20,41 m²**	**7.127 m³**	**7.263 m³**
Schleuse 67	**12,2 m**	**1,00 m**	**57,0 m²**		**57 m³**	**100 m³**
Haltung 66 - 67	**309,0 m**	**0,75 m**		**11,04 m²**	**3.411 m³**	**6.427 m³**
Schleuse 66	**45,6 m**	**0,75 m**	**212,7 m²**		**160 m³**	**374 m³**

Gesamtlänge aller Kanalstrecken:	Min.:
5957,1 m	**0,54 m**
Gesamtlänge der gefluteten Kanalstrecken:	**Max.:**
4908,4 m	**1,56 m**

Summe aktuelle Wasservolumina [m³]	Summe maximal mögliche Wasser-Volumina [m³]
53.824 m³	**97.127 m³**
	Differenz:
	43.303 m³
	+80,5 %

Tabelle 14: Aktuelle Länge der LDM-Kanalhaltungen sowie der Schleusen mit den heutigen Wassertiefen und die hieraus berechneten Wasservolumina im Vergleich zu den maximal aufnehmbaren Wassermengen bei ursprünglichen Wassertiefen der Haltungen und Schleusen *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

2.8 Starkregen und Hochwasserschutz in Nürnberg

2.8.1 Umgang mit Starkregen

Was sind Starkregenereignisse?

Starkregen ist ein Wetterphänomen, das lokal eng begrenzt auftritt und intensive Niederschläge binnen kurzer Zeit, oft nur binnen weniger Minuten, mit sich bringt. Besonders häufig treten Starkregenereignisse in den Monaten Mai bis September im Zuge von Sommergewittern auf. Zeit und Ort ihres Auftretens sind nur schwierig vorherzusagen, daher sind die Vorwarnzeiten kurz. Aber auch Dauerregen kann über mehrere Stunden hinweg intensiv auftreten und damit als Starkregen gelten. Bislang existiert keine einheitliche Begriffsdefinition. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) warnt in drei Stufen vor Starkregen, wenn folgende Schwellenwerte überschritten wurden:

- Starkregen: 15 bis 25 l/m² in einer Stunde oder 20 bis 35 l/m² in sechs Stunden;
- Heftiger Starkregen: 25 bis 40 l/m² in einer Stunde oder 35 bis 60 l/m² in sechs Stunden;
- Extrem heftiger Starkregen: mehr als 40 l/m² in einer Stunde oder mehr als 60 l/m² in sechs Stunden.

Starkregen kann jeden Ort, auch abseits von Gewässern, treffen und zu schweren Überschwemmungen und Schäden führen. Da in den letzten Jahren eine Zunahme von Starkregenereignissen beobachtet wurde und damit zu rechnen ist, dass sie im Zuge der Klimaveränderungen zukünftig häufiger auftreten werden, ist eine Vorbereitung auf kommunaler und privater Ebene notwendig, um angemessene Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

Starkregenereignisse in Nürnberg

Zu Starkregenereignissen existiert bislang noch keine 30-jährige Zeitreihe an der Station Nürnberg-Flughafen, da minütliche Niederschlagsdaten dort erst seit 1995 verfügbar sind. Da Starkregenereignisse oft nur lokal begrenzt auftreten und sich das Stadtgebiet über ca. 186 km² erstreckt, ist die Auswertung eines einzigen Standortes darüber hinaus nicht repräsentativ. Genauere Starkregendokumentationen liefern die seit 2013 vorhandenen Auswertungen der Regenschreiber der Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN), die sich an verschiedenen Standorten im Stadtgebiet befinden. Die vorhandenen Daten dokumentieren eine Reihe markanter Ereignisse in den letzten Jahren. SUN wertet die Dauer und Intensität eines Ereignisses und berechnet das statistische Wiederkehrintervall. Starkregenereignisse lassen sich nicht nur nach den drei Warnstufen des DWD klassifizieren, sondern sich auch nach SCHMITT ET AL. (2018 [141]) dem sog. Starkregenindex (SRI) zuordnen, ähnlich wie Erdbeben der Richterskala oder Wind der Beaufortskala. In Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall (Jährlichkeit) nach KOSTRA-DWD [142] werden Starkregenereignisse in zwölf Starkregenindexklassen unterteilt - je höher der Starkregenindex, desto intensiver das Ereignis. Eine Jährlichkeit von beispielsweise 100 Jahren bedeutet, dass das Ereignis statistisch gesehen im Mittel einmal in 100 Jahren auftritt. Es kann also auch häufiger oder seltener als einmal in 100 Jahren auftreten.

In Abbildung 64 werden die in Nürnberg aufgetretenen Starkregenereignisse seit dem Jahr 2013 dem Starkregenindex zugeordnet dargestellt (bis Ende 2022). Von den 56 durch die Regenschreiber dokumentierten Starkregenereig-

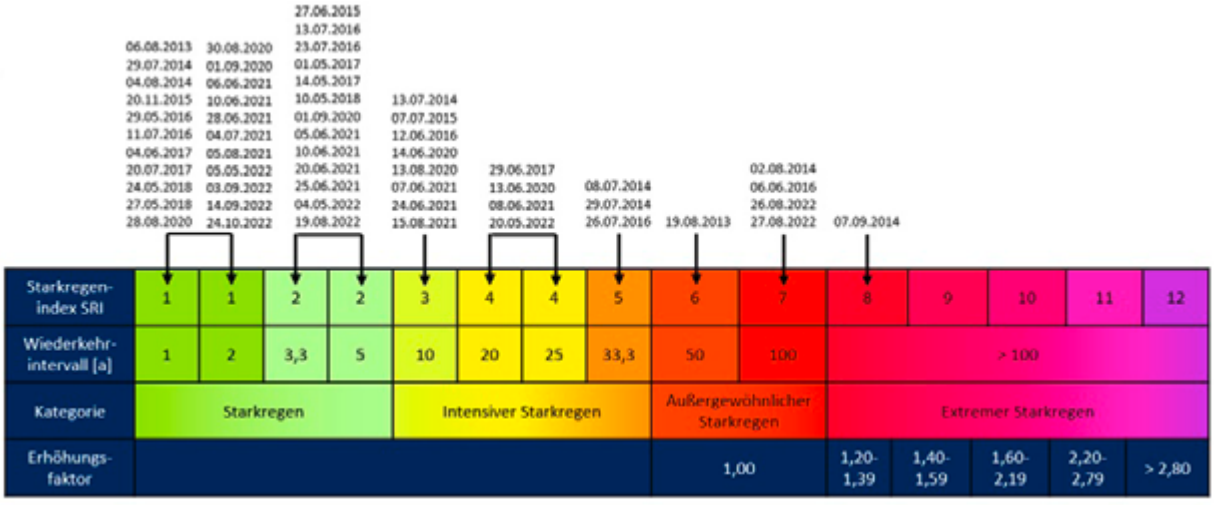


Abbildung 64: Bewertung von Starkregenereignissen nach Schmitt et al. 2018 [141] und Zuordnung der Starkregenereignisse 2013-2022 sowie der bislang aufgetretenen Ereignisse in 2022; Stand: 11.11.2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg)*

nissen im Zeitraum 2013-2022 entfällt mit 22 Ereignissen (39 %) der größte Anteil in den SRI 1 mit einem Wiederkehrintervall < 3,3 a; 13 Ereignisse (23 %) in den SRI 2 mit einem Wiederkehrintervall von 3,3 - < 10 a. 15 der aufgetretenen Ereignisse (27 %) haben ein Wiederkehrintervall von 10 - < 50 a und fallen somit in die Kategorie „intensiver Starkregen". Fünf Ereignisse (9 %) werden dem SRI 6 und 7 zugeordnet, was einem „außergewöhnlichen Starkregen" entspricht und ein weiteres Ereignis (2 %) wird mit dem SRI 8 einem „extremen Starkregen" zugeordnet. Ereignisse des SRI 9-12 sind bislang noch nicht aufgetreten.

Das bis zum Auswertungsstand Ende 2022 intensivste aus den Daten der Regenschreiber hervorgehende Starkregenereignis ereignete sich am 07.09.2014. Der Regenschreiber am Regenrückhaltebecken in der Georg-Buchner-Straße registrierte einen Niederschlag von 63,1 mm in 90 Minuten. Das Ereignis sorgte damals vor allem im Stadtnorden für massive Überflutungen von Straßen und Unterführungen. Eine Tiefgarage stand kniehoch unter Wasser. Besonders betroffen war auch der Flughafen. Keller und Abflughalle standen unter Wasser, das Wasser drang auch durch das Dach in das Gebäude ein.

Insbesondere im Jahr 2021 zeigte sich eine statistische Häufung von Starkregenereignissen. Die durch SUN betriebenen Regenschreiber im Stadtgebiet registrierten 2021 insgesamt 13 Starkregenereignisse. Im Juni 2021 fielen mit insgesamt 158 mm Niederschlag rund 22 % des Jahresniederschlags an der Messstation des DWD am Flughafen, womit er als niederschlagsreichster Juni in die bis dato 67-jährige Statistik an dieser Messstation einging. Zum Vergleich: das langjährige Mittel 1956-2021 liegt bei 69 mm für den Monat Juni an dieser Messstation. Abbildung 65 zeigt eine Fotoaufnahme aus einem Büro im Souterrain in der Nürnberger Südstadt während eines Starkregenereignisses am 08.06.2021. Die Fensterscheiben zerbrachen wenige Minuten nach der Aufnahme. Hier bestand absolute Lebensgefahr.



Abbildung 65: Das "Aquarium": ein Büro im Souterrain in der Nürnberger Südstadt während des Starkregenereignisses am 08.06.2021 um 16:43 Uhr. Der Wasserdruck ließ die Fenster wenige Minuten nach Aufnahme des Fotos zerbersten *(Quelle: privat)*

Das stärkste, je in Nürnberg gemessene Regenereignis ereignete sich jedoch im Jahr 2023. Am 17. August 2023 fielen innerhalb von zwei Stunden bereichsweise bis zu 85 l/m². Dies entspricht der Kategorie extremer Starkregen mit einem statistischen Wiederkehrintervall von weit über 100 Jahre. Auffällig ist, dass nahezu das gesamte Nürnberger Stadtgebiet von Starkregen erfasst wurde und nicht selten mit entsprechend großen Regenmengen der Jährlichkeit >100 Jahre. Keller, Tiefgaragen und Unterführungen als auch infrastrukturelle Einrichtungen waren betroffen (vgl. Abbildung 66). Rund 800 Feuerwehreinsätze wurden gezählt.

Dabei muss noch ergänzt werden, dass dieses Ereignis nicht das erste Starkregenereignis im Jahr 2023 war, vielmehr waren bereits am 8.Juni 2023 die nördlichen Stadtteile wie Großgründlach, Boxdorf, Neunhof, Kraftshof und Buch von einem Regenereignis mit Starkregenindex von über 8 betroffen.



Abbildung 66: Starkregenereignis in Nürnberg am 17.08.2023; hier: Steinbühler Tunnel *(Quelle: Stadt Nürnberg, Feuerwehr)*

Bei allen genannten Starkregenereignissen gilt: Regenschreiber und sonstige Niederschlagsmessstationen stellen ein punktuelles Abbild des Niederschlagsereignisses dar. Da Starkregenereignisse nicht flächendeckend erfasst werden (können), ist nicht auszuschließen, dass auf engstem Raum die tatsächlich gefallene Niederschlagsmenge deutlich variiert. Die Überflutungen können je nach lokalen Gegebenheiten unterschiedlich ausgeprägt sein, besondere Vorsicht ist vor allem auf stark geneigtem Gelände aufgrund hoher Fließgeschwindigkeiten sowie in der Nähe von Gewässern, in topographischen Senken, in Tiefgaragen, Unterführungen und Kellern aufgrund rapide steigender Wasserpegel geboten.

infrastrukturbezogene Maßnahmen	kanalnetzbezogene Maßnahmen
gewässerbezogene Maßnahmen	objektbezogene Maßnahmen
flächenbezogene Maßnahmen	verhaltensbezogene Maßnahmen

Tabelle 15: Maßnahmenspektrum zur Überflutungsvorsorge nach DWA M- 119 [143] *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Maßnahmen und Handlungsbedarf

Maßnahmen zum Umgang mit Niederschlagswasser und Starkregenereignissen finden in den Verwaltungsabläufen der Stadt Nürnberg bereits auf vielfältigste Weise Berücksichtigung (vgl. u.a. auch Kapitel 2.7.2). Das Maßnahmenspektrum zur Überflutungsvorsorge ist vielfältig und lässt sich nach dem Arbeitsblatt DWA M-119 [143] in sechs Kategorien einteilen (vgl. Tabelle 15).

Beispielhaft seien folgende Maßnahmen genannt:

Kanalnetzbezogene Maßnahmen werden vor allem durch die Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN) durchgeführt. Bei entwässerungstechnischen Einrichtungen wird die Überflutungsvorsorge immer mitberücksichtigt. Die Überflutungssicherheit für Regenereignisse der Wiederkehrhäufigkeit von 20 bis 30 Jahren (n= 0,05 bzw. n=0,033) wird nicht durch den Kanal allein, aber unter Einbeziehung öffentlicher Verkehrs- und Freiflächen erreicht und, soweit erforderlich, durch lokalen Objektschutz ergänzt. Mit Ausbau und Optimierung des Kanalnetzes an potentiellen Gefahrenstellen, sog. „Hot Spots", kann darüber hinaus die Überflutungsgefahr vermindert werden. Mit einer 2015 durchgeführten Kanalnetzsimulation konnte durch die Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg zum Beispiel ein wesentlicher Schwachpunkt im Kanalsystem mit Überlastungspotential westlich des Hafens identifiziert werden. Zur Abmilderung der potentiellen Überflutungsgefahr wurde ein Regenrückhaltebecken errichtet und im Jahr 2023 fertiggestellt (vgl. Abbildung 67). Damit wird die Resilienz der öffentlichen Entwässerungsanlage erhöht und der kanalnetzbezogene Beitrag zur Überflutungsvorsorge erbracht [144].



Abbildung 67: im Bau befindliches Regenrückhaltebecken „Wertacher Straße" im Jahr 2020 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik)*

Gewässerbezogene Maßnahmen werden in Zusammenarbeit des Umweltamts, der Stadtentwässerung und Umweltanalytik (SUN), des Servicebetriebs öffentlicher Raum (SÖR) und des staatlichen Wasserwirtschaftsamts Nürnberg im Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz geplant und ausgeführt. Dazu zählen die Entschärfung von Abflusshindernissen, Schaffung von Retentionsraum, die Optimierung der Gewässerunterhaltung sowie die Verbesserung von Bauwerkskonstruktionen (vgl. auch Kapitel 2.8.2).

Im Umgang mit der Ressource Fläche gilt es, bebaute Flächen, Grün- und Freiflächen sowie auch Verkehrsflächen neu und multifunktional zu denken und an die aktuellen Herausforderungen und Folgen des Klimawandels anzupassen. Unter Berücksichtigung des Leitbildes der dreifachen Innenentwicklung als auch des Prinzips der Schwammstadt konnten im Stadtgebiet bereits infrastruktur- und flächenbezogenen Maßnahmen umgesetzt werden oder befinden sich in der Planung (vgl. Kapitel 2.7.2).

Im Zuge von Bauleitplanverfahren werden Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung berücksichtigt. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um flächen- und infrastrukturbezogene Maßnahmen. Regelmäßig wird bei Bauvorhaben auch auf objektbezogene Maßnahmen wie eine risikoangepasste Gebäudegestaltung, den technisch-konstruktiven Überflutungsschutz sowie auf Maßnahmen zur Verbesserung der Abflussverhältnisse hingewiesen.

Eine Kommune kann und muss jedoch keinen ganzheitlichen Schutz vor Überflutungen gewährleisten (§5 Abs. 2 WHG), daher spielen verhaltensbezogene Maßnahmen, wie Öffentlichkeitsarbeit und Risikokommunikation eine große Rolle, um auch Eigentümer*innen zur Eigenvorsorge an ihrem Objekt, z.B. durch eine entsprechende Versicherung oder ergänzende bauliche Schutzmaßnahmen, anzuhalten. Wichtige Informationen zur Eigenvorsorge sind in der Veröffentlichung „Checkliste: So schützen Sie sich vor Hochwasser" des Bayerischen Landesamtes für Umwelt [145] zusammengestellt.

Weitere Maßnahmen der Stadtverwaltung Nürnberg

In Zusammenarbeit mit dem Umweltamt wurde bereits eine Arbeitsgruppe „Starkregen" gebildet, in der regelmäßig über den aktuellen Sachstand bei den jeweiligen kommunalen Akteuren berichtet wird und Datenaktualisierungen ausgetauscht werden.

Die Feuerwehr der Stadt Nürnberg beteiligt sich am Forschungsprojekt HERAKLION, um ein Datenmanagement für den Katastrophenfall aufzubauen und so Alarm- und Einsatzpläne optimieren zu können.

Erfahrungen aus anderen Kommunen zeigen, dass sich durch Starkregengefahrenkarten ermittelte Gefahrenstellen und Überflutungstiefen gut mit den Auswirkungen tatsächlich eingetretener Starkregenereignisse decken. Die Stadt Nürnberg strebt daher mit Beschluss des Umweltausschusses vom 06.10.2021 [146] die Erstellung einer Starkregengefahrenkarte an, um etwaige Überflutungsflächen und besondere Gefahrenstellen zu identifizieren und somit weitere Vorsorgemaßnahmen zu initiieren. Damit dient eine Starkregengefahrenkarte nicht nur der Stadt als Planungsgrundlage für die zukünftige Stadt- und Bauleitplanung sowie der Katastrophenschutz- und Einsatzplanung, sondern auch der Bevölkerung als Informationsquelle zur Stärkung der Eigenvorsorge.

Hinweis: Eine bayernweite Hinweiskarte „Oberflächenabfluss und Sturzfluten" ist derzeit durch das Bayerische Landesamt für Umwelt in Bearbeitung und soll in digitaler Form veröffentlicht werden.

Fazit

Die bislang aufgetretenen Starkregenereignisse zeigen, dass von Ihnen ein großes Schadenspotential, auch mit Gefahr für Leib und Leben, ausgehen kann. Es ist davon auszugehen, dass sich Extremwetterereignisse und somit auch Starkniederschläge in Zukunft häufen werden, intensiver auftreten und sich der Niederschlag ungleichmäßiger auf das Jahr verteilen wird. Somit ist Handlungsbedarf geboten. Die Stadt Nürnberg ist sich der Gefahr durch Überflutungen aus Starkregenereignissen bewusst und ist bestrebt, weitere adäquate Maßnahmen zu dessen Umgang und Bewältigung erfolgreich zu planen und umzusetzen. Die Überflutungsvorsorge ist eine kommunale Gemeinschaftsaufgabe und erfordert die Beteiligung, Einbindung, Kommunikation und Kooperation unterschiedlicher Akteure, um dem Ziel einer wassersensiblen Stadtentwicklung gerecht zu werden. Dabei sind Vorsorgemaßnahmen essentieller Bestandteil des Starkregenrisikomanagements. Ein integriertes Handeln, bei dem Maßnahmen aus den verschiedenen Handlungsfeldern synergetisch miteinander kombiniert werden, erzielt die bestmöglichen Effekte.

2.8.2 Überschwemmungsgebiete und Hochwasserschutz

Hochwasser geht definitionsgemäß insbesondere von oberirdischen Gewässern aus und ist eine zeitlich beschränkte Überschwemmung von Gelände, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist [147]. Ursache sind bei größeren Gewässern (z.B. Pegnitz und Rednitz) meist lange Dauerregen oder die Schneeschmelze im Winterhalbjahr und bei kleineren Gewässern (z.B. Fischbach, Langwassergraben, Goldbach) eher ein starkes Sommergewitter. Ein Teil des Niederschlags versickert im Boden, wird zwischengespeichert und bildet das Grundwasser. Bei gesättigtem oder gefrorenem Boden kann das Wasser nicht versickern und fließt direkt in die Gewässer ab. Im Falle von Starkregen tritt dieser Effekt ebenfalls ein, insbesondere bei sehr trockenen Böden kann eine Wasseraufnahme durch diesen nicht schnell genug stattfinden. Bei Überschwemmungen schwellen oberirdische Gewässer so stark an, dass sie über die Ufer treten.

In Nürnberg können neben den großen Gewässern wie Pegnitz, Rednitz oder Gründlach auch zahlreiche kleinere Bäche betroffen sein. Zum Teil verlaufen diese auch in Verrohrungen, zum Beispiel unter Straßen. Bei Hochwasser können diese Verrohrungen die Wassermengen nicht mehr fassen, so dass es auch in Bereichen zu Überschwemmungen durch Hochwasser kommen kann, in denen man die Gewässer sonst nicht ohne Weiteres wahrnimmt.

Überschwemmungsgebiete

Jedes Gewässer hat ein potentielles Überschwemmungsgebiet (ÜSG), welches bei Hochwasserereignissen überflutet wird. Für Gewässer mit einem potentiell signifikanten Hochwasserrisiko im Stadtgebiet Nürnberg wurden deren Überschwemmungsgebiete gemäß den rechtlichen Vorgaben mithilfe von hydraulischen Berechnungen ermittelt. Maßgeblich ist hierbei das sogenannte hundertjährliche Hochwasser. Also ein Hochwasser, welches in seinem Umfang einmal in hundert Jahren zu erwarten ist (HQ_{100}).



Abbildung 68: Überschwemmung am Kothbrunngraben im Februar 2021 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)*

Überschwemmungsgebiete werden unmittelbar nach der Ermittlung mittels öffentlicher Bekanntmachung vorläufig gesichert und so bereits einige rechtliche Beschränkungen für diese Gebiete - insbesondere Verbot der Errichtung baulicher Anlagen - in Kraft gesetzt. Nach der vorläufigen Sicherung werden die Überschwemmungsgebiete dann per Verordnung festgesetzt. Dem Erlass entsprechender Verordnungen muss dabei immer ein Anhörungsverfahren mit Beteiligung der Öffentlichkeit und den Trägern öffentlicher Belange und die Durchführung eines Erörterungstermins vorausgehen. Im Anschluss an die Überschwemmungsgebietsermittlung durch den Freistaat hat für Gewässer dritter Ordnung (Bäche) nach BayWG der Servicebetrieb öffentlicher Raum (SÖR) die Aufgabe, als Unterhalts- und Ausbauverpflichteter, Hochwasserschutzkonzepte für die betroffenen Gewässer zu erarbeiten. Die einzelnen Hochwasserschutzbauprojekte (z.B. Hochwasserrückhaltebecken, Deiche, Wehranlagen) werden dann im Rahmen der zur Verfügung stehenden Flächen und Ressourcen umgesetzt. Dies erfordert aufgrund sehr komplexer Randbedingungen aber einen relativ langen Projektentwicklungszeitraum. Aktuell reicht der langfristige Projektzeitenplan bis ins Jahr 2039.

Folgende ÜSG sind in Nürnberg derzeit amtlich festgesetzt (Stand: April 2023):

- Pegnitz inkl. Tiefgraben
- Rednitz
- Gewässersystem Entengraben
- Gewässersystem Langwassergraben
- Gewässersystem Gründlach

Folgende ÜSG sind in Nürnberg derzeit vorläufig gesichert (Stand: April 2023):

- Hülzlgraben im Bereich Laufamholz
- Gewässersystem Fischbach im Bereich Nürnberg/ Ortsteile Fischbach und Gleißhammer
- Goldbach im Bereich Nürnberg/Ortsteile Mögeldorf, Gleißhammer und Wöhrd
- Wetzendorfer Landgraben im Bereich Nürnberg/ Großreuth h. d. Veste, Kleinreuth h. d. Veste, Thon, Wetzendorf, Schniegling
- Gewässersystem Bucher Landgraben im Bereich Nürnberg/Buch, Almoshof, Lohe und Ziegelstein

Bei Nutzungsfestsetzungen in den Folgeplanungen, insbesondere bei Bebauungsplanungen, ist sicherzustellen, dass die dabei beabsichtigten Festsetzungen die vorläufig gesicherten und amtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiete berücksichtigen. Insbesondere das Verbot der Festsetzung neuer Baugebiete im Außenbereich aus § 78 Abs. 1 WHG ist zu beachten. Die vorläufig gesicherten und amtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiete werden in entsprechenden Plänen nachrichtlich dargestellt [148].

Hochwasserschutzmaßnahmen

Im Stadtgebiet Nürnberg wurden seit 1962 bis heute schon verschiedene Maßnahmen zum Hochwasserschutz durchgeführt. So gibt es bereits Hochwasserschutzmaßnahmen

- im Innenstadtbereich an der Pegnitz (beispielsweise der Wöhrder See, Ufermauern, 140 m langer Hochwassertunnel von der Museumsbrücke bis oberhalb der Karlsbrücke – vgl. Abbildung 69 und 70)
- in Langwasser (Überschwemmungsgebiet des Gewässersystems Langwassergraben, siehe Beispiel unten – Rückhaltebecken),
- in Boxdorf (Überschwemmungsgebiet Gründlach/Kothbrunngraben),
- in Zerzabelshof am Goldbach sowie
- im Bereich Ziegelstein/Buch am Bucher Landgraben und Hirschsprunggraben

Weitere Hochwasserschutzmaßnahmen für die Ortsteile Neunhof, Eichenlöhlein, Mühlhof/Gerasmühle und Altenfurt sind durch den Servicebetrieb Öffentlicher Raum (SÖR) und durch das staatliche Wasserwirtschaftsamt Nürnberg bereits in Planung oder beantragt. Für die Genehmigungsverfahren ist das Umweltamt der Stadt Nürnberg als Untere Wasserrechtsbehörde zuständig. Darüber hinaus wurde für kritische Bereiche am Fischbach und Goldbach bereits ein Hochwasserschutzkonzept erstellt. Für Bereiche am Wetzendorfer Landgraben ist ein Hochwasserschutzkonzept in Vorbereitung.

Als Maßnahme für das Gewässersystem Langwassergraben werden von SÖR für den Hochwasserschutz beispielsweise zwei Rückhaltebecken errichtet, die den Ortsteil Altenfurt vor Überflutungen schützen sollen. Zudem werden in dem Zuge mehrere Gewässerdurchlässe erneuert, um Engstellen zu beseitigen und eventuelle Verstopfungen zu verhindern. Die Becken werden oberhalb des Eintritts der Gewässer in den Siedlungsbereich Altenfurt gebaut. Sie werden für ein HQ100 ausgelegt. Durch die Maßnahmen werden am Langwassergraben und am Katzengraben insgesamt 195 Haushalte vor einem solchen Hochwasserereignis geschützt. Im Sommer 2023 beginnen die baulichen Arbeiten für das Becken am Katzengraben, gefolgt von ergänzenden Maßnahmen zur Anpassung von Durchlässen, um Engstellen zu beseitigen. Das Rückhaltebecken soll ein Rückhaltevolumen von 14.000 Kubikmetern bieten. In 2024 wird dann das Becken am Langwassergraben mit einem Rückhaltevolumen von 6.000 Kubikmetern gebaut. Die Rückhaltebecken sollen 2024/2025 in Betrieb genommen werden.



Abbildung 69: Hochwassertunnel Pegnitz
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Abbildung 70: Ufermauern an der Pegnitz
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Im Zuständigkeitsbereich von SÖR liegt außerdem der Hochwasserdienst. Die Aufgaben in diesem Rahmen erfassen u.a. die Kontrolle der Vorrichtungen zum Hochwasserschutz sowie die Verkehrssicherungspflicht und die Errichtung von Absperrungen bei Hochwasser. Zudem dient der Servicebetrieb im Ernstfall als Meldestelle, die Informationen an Bürgerinnen und Bürger weitergibt und Anlieger warnt. SÖR sorgt außerdem dafür, dass alle kleineren, fließenden Gewässer und städtischen Weiher (etwa der Dutzendteich, Faberweiher, Valznerweiher, Zeltnerweiher oder der Stadtparkweiher) ausreichend Platz haben und in geordneten Bahnen verlaufen. Dafür entschlammt SÖR zum Beispiel Teiche, repariert Ufermauern und Rohre oder saniert den Uferbereich. Für die wichtigsten Gewässersysteme gibt es außerdem Gewässerentwicklungskonzepte, auf deren Basis durch SÖR mit anderen Dienststellen (UwA, SUN) schrittweise eine ökologische Aufwertung der Gewässer stattfindet.



Abbildung 71: Angepasste Verrohrung schützt vor Überlauf *(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)*

Anhang I

Weiterführende Informationen zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser

Frisches Trinkwasser ist ein lebensnotwendiges Gut, ein sorgsamer und nachhaltiger Umgang damit ist nicht nur Pflicht und Aufgabe der öffentlichen Hand, sondern auch die eines jeden einzelnen Bürgers.

Wassersparen im Haushalt:

60 % des gesamten Wasserbedarfs in Nürnberg wird von den privaten Haushalten benötigt, ca. 125 Liter/Person/Tag (45.600 l/Person/Jahr) [69]. Es steckt also ein großes Potential zum Wassersparen in diesem Bereich. Auf folgenden Internet-Seiten finden Sie praktische Tipps und Hinweise:

- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: „Wasser einfach sparen“
  HTTPS://WWW.BMUV.DE/THEMEN/WASSER-RESSOURCEN-ABFALL/BINNENGEWAESSER/UN-WASSERDEKADE/WASSER-EINFACH-SPAREN
- UMWELTBUNDESAMT: „Wassersparen im Alltag“
  HTTPS://WWW.UMWELTBUNDESAMT.DE/THEMEN/WASSER-SPAREN-IM-ALLTAG
- UMWELTBUNDESAMT: „Wassersparen in Privathaushalten: sinnvoll, ausgereizt, übertrieben?“
  HTTPS://WWW.UMWELTBUNDESAMT.DE/PUBLIKATIONEN/WASSERSPAREN-IN-PRIVATHAUSHALTEN-SINNVOLL

Gewässerschützende Maßnahmen im Haushalt

Wasch- bzw. Spülmittel belasten Kläranlagen und Gewässer. Bei unsachgemäßem Umgang mit Fremdstoffen / Abfällen (Farb- und Tabakresten, Medikamenten, Hygieneartikel aber auch Essensreste wie Fette und Öle) können schädliche Inhaltsstoffe in das Abwasser oder in die Gewässer (Oberflächengewässer und Grundwasser) gelangen. Im Abwasser erschweren sie die Reinigung in der Kläranlage. Der Einsatz von Streusalz schadet Bäumen, Pflanzen, Tieren, Gewässer ebenso wie Fahrzeugen und Bauwerken. Siehe unter anderem:

- UMWELTBUNDESAMT: „Tipps – Haushalt und Wohnen“
  HTTPS://WWW.UMWELTBUNDESAMT.DE/UMWELTTIPPS-FUER-DEN-ALLTAG/HAUSHALT-WOHNEN
- STADT NÜRNBERG, STADTENTWÄSSERUNG UND UMWELTANALYTIK NÜRNBERG: „Welche Stoffe gehören nicht ins Abwasser?“
  HTTPS://WWW.NUERNBERG.DE/IMPERIA/MD/SUN/DOKUMENTE/SUN/INFO_STOFFE.PDF

Wassersparen bei der Gartenbewässerung

Lange Trockenperioden im Sommer haben in den letzten 10 Jahren deutlich zugenommen und werden entsprechend den Klimawandelprognosen auch weiterhin häufiger vorkommen. Für Privatgärten bedeutet das meist, dass in diesen Trockenzeiten intensiv bewässert wird. Bei einer, von gärtnerischer Seite allgemein empfohlenen, Wassergabe von 15 bis 20 l je Quadratmeter Gartenfläche pro Woche, bzw. im Hochsommer zweimal pro Woche, würden in den Bewässerungsmonaten (März bis September) für eine Gartenfläche von 300 m² 80 m³ bis 150 m³ Wasser pro Jahr benötigt. Zum Vergleich: der Jährliche Pro-Kopf-Verbrauch an Trinkwasser liegt bei ca. 46 m³/Jahr. Eine möglichst weitreichende Reduktion von Bewässerungswasser in Privatgärten ist auch im Falle eines Vorhandenseins eines Gartenbrunnens geboten, denn bei einer nachhaltigen Grundwassernutzung stünden nur 11 m³ zur Nutzung zur Verfügung (entspricht 30 % der Grundwasserneubildung auf dem Grundstück).

Deshalb sind in erster Linie eine angepasste Gartengestaltung (i.W. trockenheitsresistente Bepflanzung, Verschattungen, Mulchen), die Regenwassernutzung und geeignete Bewässerungsmethoden sowie die Bewässerung nur in Morgen- und Abendstunden wichtige Maßnahmen zum schonenden Umgang mit Wasser im Garten. Hierzu finden Sie mehr z.B. unter:

- UMWELTBUNDESAMT: „Tipps für eine nachhaltige Regenwassernutzung“
  HTTPS://WWW.UMWELTBUNDESAMT.DE/UMWELTTIPPS-FUER-DEN-ALLTAG/GARTEN-FREIZEIT/REGENWASSERNUTZUNG#GEWUSST-WIE
- LANDESANSTALT FÜR OBST- UND GARTENBAU: Infoschrift „Der Garten im Klimawandel“
  HTTPS://WWW.LWG.BAYERN.DE/MAM/CMS06/GARTENAKADEMIE/DATEIEN/GARTEN_KLIMAWANDEL.PDF
- „Der Klimawandel-Garten“
  HTTPS://WWW.LWG.BAYERN.DE/KLIMAWANDELGARTEN

Umgang mit Niederschlagswasser auf Privatgrundstücken:

Niederschlagswasser, das auf befestigten Flächen von Privatgrundstücken anfällt, darf nicht in Nachbargrundstücke oder den Straßenraum abfließen. Mit dem Regenwasser soll soweit irgend möglich Vor-Ort umgegangen werden, d.h., z.B. gesammelt und genutzt oder/und versickert werden (z.B. durch Einsatz von Regentonnen, Zisternen, Flächenversickerung oder Versickerungsanlagen). Flächenversiegelungen sollten geringgehalten werden, damit möglichst wenig Niederschlagswasser abgeleitet werden muss und so viel Fläche wie möglich der (Flächen-)Versickerung zur Verfügung steht. Wo sich eine Versiegelung nicht vermeiden lässt, sollten möglichst versickerungsfähige Beläge gewählt werden. Begrünte Dächer und Fassaden können Niederschlagswasser zurückhalten (vgl. auch Begrünungssatzung der Stadt Nürnberg [149]). Für Begrünungsmaßnahmen gibt es Förderprogramme bei der Stadt Nürnberg. Das Anlegen von Mulden an geeigneter Stelle bietet Retentionsraum bei Starkregenereignissen. Weitere Hinweise finden Sie z.B. unter:

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Regenwassernutzung“
  HTTPS://WWW.LFU.BAYERN.DE/WASSER/UMGANG_MIT_NIEDERSCHLAGSWASSER/REGENWASSERNUTZUNG/INDEX.HTML
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Regenwasserversickerung – Gestaltung von Wegen und Plätzen – Praxisratgeber für den Grundstückseigentümer“
  HTTPS://WWW.BESTELLEN.BAYERN.DE/
- STADT NÜRNBERG, UMWELTAMT: „Regenwasserbewirtschaftung“
  HTTPS://WWW.NUERNBERG.DE/INTERNET/UMWELTAMT/REGENWASSER.HTML
- STADT NÜRNBERG: „Förderprogramme zur Begrünung“
  HTTPS://WWW.NUERNBERG.DE/INTERNET/KLIMASCHUTZ/HOFBEGRUENUNG.HTML

Eigenvorsorge vor Starkregen- und Hochwassergefahren:

Extreme Wetterereignisse wie Hitzeperioden, Starkregen, Hochwasser und Stürme treten vermehrt auf und machen nicht an Grundstücksgrenzen halt. Wie sich Grundstücks- oder Hausbesitzer*innen und Mieter*innen gegen extreme Wetterphänomene wappnen können und welche Problemfelder auf jeden zukommen können sowie mögliche Präventionsmaßnahmen beschreiben folgende Praxisratgeber:

- DEUTSCHEN INSTITUTS FÜR URBANISTIK (DIFU): „Praxisratgeber klimagerechtes Bauen“
  HTTPS://DIFU.DE/PUBLIKATIONEN/2017/PRAXISRATGEBER-KLIMAGERECHTES-BAUEN
- FACHINFORMATION BUNDESBAU: „Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge“
  HTTPS://WWW.FIB-BUND.DE/INHALT/THEMEN/HOCHWASSER/
- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR): „Leitfaden Starkregen – Objektschutz und bauliche Vorsorge“
  HTTPS://WWW.BBSR.BUND.DE/BBSR/DE/VEROEFFENTLICHUNGEN/SONDERVEROEFFENTLICHUNGEN/2018/LEITFADEN-STARKREGEN-DL.HTML

Anhang II

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

Allmendeflächen
Gemeindeflur im Eigentum der Gemeinde befindliche Landfläche (Wald, Gewässer, Weide), welche von der gesamten Bevölkerung benutzt werden darf.

Altlasten
Stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind (Altablagerungen) und Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist (Altstandorte), durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den Einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden.

AMPA
Abkürzung für Aminomethylphosphonsäure; AMPA ist ein Abbauprodukt des Breitbandherbizids Glyphosat.

Anthropogen
Vom Menschen ausgehende Beeinflussung

Aquiclude
Schicht, die eine Grundwasser leitende Schicht (Aquifer) begrenzt und selbst kaum wasserdurchlässig ist (z.B. Tone).

Aquifer
Zur Speicherung von Grundwasser geeignete geologische Schicht im Untergrund einschließlich nicht wassererfüllter Bereiche.

Aquiferbasis
Untere Grenze eines Aquifers.

Arteser
Bei Bohrungen und Brunnen oberflächlicher Wasseraustritt durch gespanntes Grundwasser (unter Druck stehendes Grundwasser).

Bauwasserhaltung
Siehe Grundwasserhaltung

BBodSchG
Bundesbodenschutzgesetz

Benkersandstein
Geologische Schicht des Gipskeupers

Biodiversität
Artenreichtum

Biotop
Lebensraum einer Artengemeinschaft mit einer einheitlichen, gegenüber seiner Umgebung abgrenzbaren Beschaffenheit.

Blasensandstein
Geologische Schicht des Sandsteinkeupers

Boden
Belebte, verwitterte oberste Zone über dem ursprünglichen Gestein; im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes der oberste Bereich der Erdkruste bis zum Grundwasser einschließlich der flüssigen Bestandteile (Bodenlösung) und der gasförmigen Bestandteile (Bodenluft), ohne Grundwasser und Gewässerbetten.

Bodenluft
Alle Gase, die sich in den Hohlräumen des Bodens befinden.

Bodenmatrix
Bezeichnung für die festen Bestandteile des Bodens.

BTEX
Abkürzung für die monozyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und die Xylole.

Buntsandstein
Geologische Schicht der Trias

Datenlogger
Gerät zur automatischen Datensammlung, zum Beispiel von Grundwasserstandsdaten.

Deckschichten
Siehe Grundwasserdeckschichten

Difu
Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH

Drainagen
technische Anlagen zur Fassung und Ableitung von Wasser, um der Vernässung von Bauwerken und landwirtschaftlichen Flächen entgegenzuwirken.

Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert)
Ein Maß für die Wasserwegsamkeit eines Bodens oder Gesteins, also die Durchlässigkeit für Wasser.

EG-WRRL

siehe Wasserrahmenrichtlinie

Einzugsgebiet
Fläche, aus der das Grundwasser einem oder mehreren Brunnen zufließt.

Erosion
Abtrag des vorhandenen Gesteins z.B. durch Gletscher, Flüsse oder Niederschlagswasser, dabei können z.B. Erosionsrinnen entstehen.

eutroph
bezogen auf Gewässer und deren Beurteilung: zu viel Nährstoff enthaltend; überdüngt.

Eutrophierung
Eutrophierung von Gewässern: Prozess der Anreicherung von Nährstoffen in ursprünglich nährstoffarmen Gewässern durch menschliche Aktivitäten; mit der Folge, dass Algen und Wasserpflanzen übermäßig wachsen können und so anderen Pflanzenarten, vielen Kleinlebewesen und Tieren die Lebensgrundlage entziehen.

Evaporation
Verdunstung von Wasser von unbewachsenen Oberflächen oder von Wasserflächen.

Fazies
lateinisch facies = Gesicht, Antlitz: Gesamtheit aller Eigenschaften eines Gesteins, die auf seiner Entstehungsgeschichte beruhen; bei einem Sedimentgestein: alle strukturellen und texturellen Merkmale sowie der Fossilieninhalt, die/den es bei seiner Bildung aufgrund der Ablagerungsbedingungen erhalten hat.

Festgestein
Felsgestein

Fließgewässer
Gewässer mit Bewegung (z.B. Flüsse).

Flurabstand
siehe Grundwasserflurabstand

Fluviatil
durch fließendes Wasser (Flüsse) geschaffen / verursacht.

Ganglinie
Graphische Darstellung der zeitlichen Änderung hydrologischer Daten (z.B. Hochwasser, Grundwasserstände etc.)

Geogen
von geologischen Ausgangsmaterial herrührend, z.B. natürlicher Sulfatgehalt im Grundwasser.

Geologie
Lehre vom Aufbau, der Entwicklungsgeschichte und der Struktur der Erde, der Entwicklungsgeschichte und den Eigenschaften der Gesteine.

Geothermie
(oder Erdwärme) ist die unterhalb der Erdoberfläche gespeicherte Wärmeenergie.

Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS)
Die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) wird definiert als Konzentration, bei der trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber regionalen Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleiteter Werte eingehalten (LAWA)

gesundheitlicher Orientierungswert (GOW)
Für die Bewertung von bisher nicht oder nur teilbewerteter Stoffe in Trinkwässern hat das Umweltbundesamt das Konzept der „Gesundheitlichen Orientierungswerte" (GOW) entwickelt. Es sind Vorsorgewerte. Der GOW wird so niedrig angesetzt, dass auch bei einer späteren vollständigen humantoxikologischen Bewertung bei lebenslanger täglicher Aufnahme des betreffenden Stoffes über das Trinkwasser ausreichend sicher keine Gesundheitsschädigungen beim Menschen zu erwarten sind (UBA)

Glyphosat
Einzelstoff aus der Gruppe der Pflanzenschutzmittel.

GOK
Abkürzung für Geländeoberkante; u.GOK bedeutet unter Geländeoberkante.

Grundhochwasser
Ein durch erhöhte Grundwasserneubildung oder Flusshochwasser ausgelöstes erhebliches Ansteigen der Grundwasserstände.

Grundwasser
Ist das unterirdische Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und in seinen Bewegungen der Schwerkraft unterworfen ist.

Grundwasseranreicherung
Künstliches Einbringen von Wasser in den Untergrund, z.B. über Schluckbrunnen oder Versickerungsanlagen.

Grundwasserdargebot
Summe aller positiven Bilanzglieder des Wasserhaushaltes (Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Uferfiltrat, künstliche Grundwasseranreicherung, usw.).

Grundwasserdeckschicht
(auch Grundwasserüberdeckung) Boden- und Gesteinsschichten oberhalb des Grundwasserspiegels.

Grundwasserflurabstand
(oder Flurabstand) ist der Abstand zwischen der Geländeoberfläche und der Grundwasseroberfläche.

Grundwasserhaltung
Grundwasserentnahme zur Trockenhaltung von Baugruben oder Lagerstätten.

Grundwasserkörper
Abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter.

Grundwasserleiter
Schichten im Untergrund, die in ihrem Porenraum Grundwasser führen (z.B. Sand, Kies oder Sandstein).

Grundwassermessstelle (GWM)
In den Untergrund eingebautes Messrohr, in dem die Höhe des Grundwasserstandes bestimmt oder Grundwasserproben gewonnen werden können.

Grundwasserneubildung
Zusickerung von infiltriertem Niederschlags- oder Oberflächenwasser zum Grundwasser.

Grundwasserspiegel
Oberfläche des Grundwasservorkommens, wie sie zum Beispiel in einer Grundwassermessstelle oder einem Brunnen gemessen werden kann.

Grundwasserstauer
Bindige Gesteine mit sehr kleinen oder kaum zusammenhängenden Poren wirken als Grundwassergeringleiter (z.B. Geschiebemergel, sandiger Schluff) oder als Grundwasserstauer (u.B. Ton, Tonstein)

Grundwasserstockwerke
Stockwerkartig sich überlagernde hydrogeologische Einheiten, die durch einen Wechsel im Untergrund zwischen Grundwasser führenden Schichten und stauenden Schichten entstehen.

GrwV
Grundwasserverordnung [3]

Habitat
bezeichnet in der Biologie den charakteristischen Aufenthaltsbereich einer bestimmten Tier- oder Pflanzenart beziehungsweise den durch spezifische abiotische und biotische Faktoren bestimmten Lebensraum, an dem die Art in einem Stadium ihres Lebenszyklus lebt.

Hangende
Das Hangende ist die Gesteinsabfolge, die topografisch über einem bestimmten Horizont oder einer geologischen Schicht liegt.

holozän
das Erdzeitalter Holozän betreffend; das Holozän beschreibt den Abschnitt der Erdgeschichte, der vor rund 12 000 Jahren einsetzte und bis heute andauert; er ist die zweite Serie des Quartärs (sog. „Nacheiszeitalter").

Hydrogeologie
Wissenschaft vom Wasser in der Erdkruste, den geologischen Eigenschaften der Gesteine in Hinblick auf ihre Leit- und Speicherfähigkeit für Grundwasser und anderen Faktoren, die Einfluss auf das Grundwasser haben.

Infiltration
Prozess des Eindringens von Niederschlagswasser in den Erdboden.

Infiltrationskapazität
entspricht der Niederschlagsmenge, die pro Flächeneinheit in den Boden eindringen und von diesem aufgenommen werden kann, bis Oberflächenabfluss einsetzt.

Interzeption
Rückhalt von Wasser auf der Oberfläche von Pflanzen.

Isohypse
Linie gleicher Grundwasserstände

Kelvin
Kurzzeichen K, Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur (Kelvin-Temperatur). Die Skaleneinteilung entspricht der Celsius-Skala, jedoch liegt der Skalen- Nullpunkt beim absoluten Temperatur-Nullpunkt. Kelvin wird zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet.

Keuper
Oberster Abschnitt des Erdzeitalters der Trias; bestehend im Wesentlichen aus Gipskeuper und Sandsteinkeuper.

KLIWA
Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz sowie des Deutschen Wetterdienstes; Ziel ist die Herausarbeitung möglicher Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt und auf die Ökologie der Flussgebiete im Süden Deutschlands, das Aufzeigen der Konsequenzen und das Erarbeiten von Handlungsempfehlungen.

Kluft
Gesteinsfuge im Festgestein, die durch die Bewegung der Erdkruste entstanden ist.

Kontamination
Verunreinigung des Bodens oder des Grundwassers mit Schadstoffen.

LAWA
Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

Lehrbergschichten
Geologische Schicht des Gipskeupers

Leitfähigkeit
Maß für die Ionenkonzentration im Wasser

Leitparameter
Wasserinhalts- oder Schadstoffe, die charakteristisch für das Grundwasservorkommen oder für bestimmte anthropogene Beeinflussungen des Grundwassers sind.

Letten
Verschiedenfarbige, feinkörnige, tonige Lagen im Keuper.

Liegende
Das Liegende ist die Gesteinsabfolge, die topografisch unter einem bestimmten Horizont oder einer geologischen Schicht liegt.

LHKW
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe, eine Gruppe von stark gesundheitsschädlichen, in der Natur nicht vorkommenden, Stoffen.

Lockergestein
Nicht verfestigtes Gestein wie Sand, Kies.

Makrophyten
Gewächse, die auf Grund ihrer Größe als einzelnes Exemplar mit bloßem Auge sichtbar sind. Der Begriff wird meist auf Wasserpflanzen angewandt.

Makrozoobenthos
Tierischen Organismen bis zu einer definierten Größe (mit dem Auge noch erkennbar), die am Gewässerboden leben.

Markierungsversuche
Ein Markierungsstoff (Tracer) wird einem Gewässer zugegeben, um das Fließverhalten dieses Gewässers (Grundwasser oder Fließgewässer) zu ermitteln. Im Abstrom wird dazu der Konzentrationsabfall und die Verweilzeit gemessen

Metabolite
Abbauprodukte von chemischen Verbindungen

MKW
Mineralölkohlenwasserstoffe (z.B. Benzin, Diesel)

Monitoring
Dauerhafte Überwachung nach einem festgelegten Programm.

Nitrat
Stickstoffverbindung, die durch die Oxidation stickstoffhaltiger Düngemittel und Stickstoffdepositionen aus der Luft entsteht.

PAK
Abkürzung für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (z.B. Benzo(a)pyren). Entstehen generell bei Verbrennungsprozessen.

Paläotäler
Überreste alter Flussverläufe, heute mit Lockersedimenten verfüllt.

Pegel
Einrichtungen zur Messung von Wasserständen (z.B. Fluss- oder Grundwasserstände)

Persistenz
Eigenschaft von Stoffen, unverändert durch pysikalische, chemische oder biologische Prozesse in der Umwelt zu verbleiben. Der Ausdruck „persistente Stoffe" wird häufig für schwer abbaubare Stoffe verwendet.

PFC
per- und polyfluorierte Chemikalien – siehe PFAS

PFOS
per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen; auch bekannt unter PFC; eine Untergruppe sind die PFT (perfluorierte Tenside); Hauptvertreter ist PFOS. PFAS kommen nicht natürlich vor. Sie finden verbreitet Anwendung in industriell gefertigten Produkten (z. B. wasser-, fett- und schmutzabweisenden Beschichtungen, in Textil- und Papierausrüstungen, Galvanik und Feuerlöschschäumen). PFAS sind kaum abbaubar und verbleiben daher für einen sehr langen Zeitraum in der Umwelt.

pH-Wert
Wert für die Aggressivität von Säuren und Basen.

Phytobenthos
Zum Phytobenthos zählen alle niederen Wasserpflanzen (Algen, Cyanobakterien), die am Gewässergrund leben.

POK
Pegeloberkante

Porenvolumen
Das Volumen der, nicht durch Klüfte entstandenen, Hohlräume in einem Gestein.

Porosität
Stellt das Verhältnis von Hohlraumvolumen zu Gesamtvolumen eines Stoffes oder Stoffgemisches dar.

PSM
Pflanzenschutzmittel

Quartär
Erdzeitalter von etwa 2,6 Millionen Jahren vor unserer Zeit bis heute (umfasst Pleistozän und Holozän).

Quartäre Deckschichten
Sedimente der quartären Fließgewässer (Sande, Kiese, z.T. auch schluffig-tonige Lagen) und Flugsandablagerungen aus Verwehungen während der Eiszeiten im Quartär.

Quelle
Natürlicher, an einer bestimmten, örtlich begrenzten Stelle nicht nur vorübergehend erfolgender Austritt von Grundwasser.

Renaturierung
Maßnahmen zur Restaurierung von Brachland in Naturflächen.

Resilienz
Widerstandsfähigkeit, Fähigkeit, Krisen und Katastrophen besser zu überstehen

rezent
in der Gegenwart ablaufende geologische Prozesse.

Rigole
Ein unterirdischer Speicher, dem abfließendes Regenwasser zugeleitet wird und aus dem es nach und nach in den Untergrund versickert.

Rohwasser
Noch nicht aufbereitetes Grund- oder Oberflächenwasser, das der Trink- und Brauchwasserversorgung dienen soll.

Sandsteinkeuper
Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen aus der Zeit des mittleren und oberen Keupers (obere Trias).

Sonderkultur
Landwirtschaftlich angebaute Kulturpflanzen, deren Anbau nicht überall möglich ist bzw. deren Produktion sehr arbeits- und kostenintensiv ist.

Souterrain
auch Tiefpaterre; Geschoss eines Gebäudes, das zur Hälfte im Keller/ unter dem Straßenniveau liegt

Sparten
Leitungen, z.B. Strom-, Telefon-, Gas-, Wasser-, Abwasser-, Fernwärmeleitungen

Speichergestein
Ein Gesteinskörper, der aufgrund seiner Beschaffenheit, z.B. großer Hohlraumanteil oder miteinander verbundene Hohlräume, dazu geeignet ist, Grundwasser oder Erdöl bzw. Erdgas zu speichern.

Stauwasser
zeitweise, d.h. nach Niederschlagsereignissen, auf schlecht wasserdurchlässigen Schichten aufstauendes Sickerwasser.

Stillgewässer
Stillstehende Gewässer (z.B. Weiher)

Tektonik
Bewegung der Erdplatten

Tertiär
Erdzeitalter von etwa 65 bis 2,6 Millionen Jahren vor unserer Zeit.

Tracer
Leicht nachweisbarer Stoff, der zur Markierung (Markierungsversuch) in geringen Mengen in Fließgewässer oder in Grundwasser eingebracht wird, um etwa die Fließwege zu ermitteln. Auch natürlich vorkommende Stoffe können für Traceruntersuchungen genutzt werden.

Transpiration
Verdunstung von Wasser über die Spaltöffnungen der Blätter von Pflanzen.

Trinkwasser
Wasser, das als Lebensmittel für den Menschen verwendet wird.

TrinkwV
Trinkwasserverordnung [2]

ubiquitär
allgegenwärtig

Uferfiltrat
Grundwasser, das durch das Einströmen von Bach- oder Flusswasser in dem gewässerbegleitenden Grundwasserleiter gebildet und in Ufernähe durch Brunnen gewonnen wird.

UwA
Umweltamt der Stadt Nürnberg

Urban
Die Stadt betreffend.

Versiegelung
Überbauung oder andere wasserundurchlässige Befestigung des Bodens mit der Folge einer Verhinderung der Versickerung von Wasser.

Wasserfassung
Wasserfassung ist ein Oberbegriff für jegliche bauliche Anlage zur Gewinnung von Wasser aus Grundwasser, Quellen usw., z.B. Brunnen, Brunnenstuben, Entnahmebauwerke, Sickerleitungen, Sickerstollen. Spezielle Wasserfassungen werden auch als Brunnenfassung bezeichnet.

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
Kurzbezeichnung für die „Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik".

Wasserscheide
Grenze zwischen zwei Einzugsgebieten.

Wasserschutzgebiet
Dient dem besonderen Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen. Es ist in mehrere Zonen gegliedert, für die abgestufte Handlungsbeschränkungen und Verbote gelten.

WWA
Staatliches Wasserwirtschaftsamt Nürnberg

Anhang III

Abbildungsverzeichnis

Vorwort: Pressebilder Frau Walthelm
(Quelle: Stadt Nürnberg, Amt für Kommunikation und Stadtmarketing; Dierenbach, Ch.)
Dr. Köppel
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt; Kretz, H.)

Abbildung 1: Grundwasserberichte der Stadt Nürnberg
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 2: Übersicht über die Stoffgruppe der PFAS
(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)

Abbildung 3: Anwendungsbereiche der PFAS
(Quelle: Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, ÖVGW, Wien [10])

Abbildung 4: Ausweisungsschema für mit Nitrat belasteten Gebiete
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt)

Abbildung 5: Abgrenzung der Ränder
(Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft LfL, verändert,
Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung; Lizenz: CC BY 4.0)

Abbildung 6: Equipment zur Bodenprobenahme und Aufbereitung für den Nitratschnelltest
(Quelle: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau ; LWG)

Abbildung 7: Düngeversuch im Eissalat
(Quelle: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau ; LWG)

Abbildung 8: Stellenweise Aufhellung des Sellerielaubes bei reduzierter Stickstoffdüngung (rechte Hälfte) nach Starkregen
(Quelle: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau ; LWG)

Abbildung 9: Befallsprognose mittels Farbtafeln
(Quelle: Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Fürth-Uffenheim)

Abbildung 10: Septoria-Blattfleckenkrankheit an Sellerie
(Quelle: Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Fürth-Uffenheim)

Abbildung 11: Schädlingsbekämpfung durch Nützlingseinsatz im Gewächshaus
(Quelle: Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Fürth-Uffenheim)

Abbildung 12: Wichtige Begriffe bei der Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Referat 96)

Abbildung 13: Schematische Darstellung der horizontalen Ausdehnung von Grundwasserbelastungen
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Referat 96)

Abbildung 14: Modelhafte Darstellung der Schadstofffrachten
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Referat 96)

Abbildung 15: Schematische Darstellung der Beeinflussung der Grundwassertemperatur.
(Quelle: K. Menberg et.al. [34])

Abbildung 16: Temperaturfeld des Untergrundes zweier benachbarter Erdwärmesondenanlagen nach einer Betriebsdauer von 50 Jahren (Raster: 1*1m; Temperaturbereich von grün nach rot: 8 Kelvin)
(Quelle: A. Eber)

Abbildung 17: Grundwassermessstellen des Grundwassermessnetzes der Stadt Nürnberg
(Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)

Abbildung 18: schematische Darstellung der Grundwasservorkommen in Nürnberg (ca. 20-fach überhöht): vorwiegender Kluft- (und Poren-)grundwasserleiter (hier i.W. Blasen- und Burgsandstein) und Porengrundwasserleiter (z.B. Urtalrinnen); schwebende Stockwerke z.B. im Bereich der Burg
(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)

Abbildung 19: Baugrube mit Grundwasser gefüllt, Karl-Schönleben-Straße, 2017
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 20: Faktoren des Wasserhaushalts
(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt; Fotos: Regenschleier, Quelle: Timo Nickl; verdunstendes Wasser aufsteigender Nebel, Quelle: Stadt Nürnberg; Umweltamt: Pegnitz, Quelle: Stadt Nürnberg, Amt für Kommunikation und Stadtmarketing; Tiefer Brunnen wissenschaftlicher Tauchgang 2012, Quelle: Uli Kunz)

Abbildung 21: veränderte Wasserbilanz durch Versiegelung: Wege des Niederschlags bei natürlichem und bei befestigtem Untergrund
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Caroline Stumpf)

Abbildung 22: Nahezu ausgetrockneter Flusslauf der Gründlach am 16.08.2022, nach einer langanhaltenden Trockenzeit
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 23: Titelblatt zum Bericht über 20 Jahre EG Wasserrahmenrichtlinie
(Quelle: Umweltbundesamt)

Abbildung 24: Logo Wasserzukunft Bayern 2050
(Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz)

Abbildung 25: Überblick über die Wasserbedarfe in Nürnberg (ohne Kühlwasser für Kraftwerke aus Oberflächengewässern), Zusammenstellung benötigter Wassermengen nach Nutzungsarten im Durchschnitt der letzten vier bis sechs Jahre - Stand Ende 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 26: Bohrprofil und Ausbauplan der Grundwassermessstelle GWM_N0081 in der Nähe des Marienbergweihers
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 27: Biotop des Bund Naturschutz (BN) bei Niedrigwasser im Sommer 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Abbildung 28: Aufwuchsbeseitigung in der Wasserfläche zur Verhinderung der Verlandung im Herbst 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Abbildung 29: vor der Aufwuchsbeseitigung (links) – wieder freie Wasserfläche (rechts) 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Abbildung 30: Knoblauchkröte
(Quelle: Harzheim, Mario; piclease)

Abbildung 31: Rohrberegnung im Knoblauchsland
(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

Abbildung 32: Ansicht Hochbehälter Buch
(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

Abbildung 33: Schema der Präzisionsbewässerungssteuerung
(Quelle: Peassler AG)

Abbildung 34: Bewässerung mit Rohrberegnung (links), Tropfbewässerung (Mitte) und Rollomat (rechts)
(Quelle: linkes Foto: Landesanstalt für Wein- und Gartenbau, A. Dümig; mittleres und rechtes Foto: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.)

Abbildung 35: Einsatz und Einbau von Bodenfeuchtesensoren
(Quelle: Landesanstalt für Wein- und Gartenbau, A. Dümig)

Abbildung 36: Unterschiedliche Abtrocknung des Bodens nach einer Bewässerung mit schlechter Wasserverteilgenauigkeit - Drohnenfotos
(Quelle: Landesanstalt für Wein- und Gartenbau, A. Dümig)

Abbildung 37: Große Versickerungsmulde mit Rigole östlich der Johann-Pachelbel-Realschule an der Rothenburger Straße in Nürnberg
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 38: Extensive Dachbegrünung der Johann-Pachelbel-Realschule in Nürnberg
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 39: Niederschlagswasserkonzept für den B-Plan 4529
(Quelle: Adler & Olesch, Landschaftsarchitekten GmbH)

Abbildung 40: Private Versickerungsmulde im Neubaugebiet "Angersiedlung" in Großreuth bei Schweinau
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 41: Beispiele für blau-grün-graue Infrastrukturmaßnahmen
(Quelle: bgmr Landschaftsarchitekten GmbH [106])

Abbildung 42: Beispiele aus netWORKS4 [107]
1- Arkadien, Winnenden (Quelle: Henning Larsen); 2 - Rasensprenger (Quelle: A. Christen, UBC Geography [150]); 3 - Urbane Fläche, Tanner Springs Park in Portland, Oregon, USA (Quelle: Henning Larsen); 4 - Rummelsburger Bucht, Berlin (Quelle: Kompetenzzentrum Wasser Berlin); 5 - Scharnhauser Park, Ostfildern (Quelle: Henning Larsen)]

Abbildung 43: Visualisierung Südstadt.Klima.Meile aus dem Freiraumkonzept Nürnberger Süden
(Quelle: Büro bgmr Landschaftsarchitekten, 2022; Foto: G. Illig [106])

Abbildung 44: „Ökosee" – Machbarkeitsstudie zu einer neuen Wasserfläche Tiefes Feld, 2020
(Quelle: Technische Hochschule Nürnberg, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft Nürnberg - IWWN [111])

Abbildung 45: Schematische Darstellung des Entwässerungskonzepts zum B-Plan Nr. 4445 „Tiefes Feld"
(Quelle: integrierte Planung – adlerolesch im Verbund mit Ramboll Studio Dreiseitl / Henning Larsen [112])

Abbildung 46: Entwässerung Teil-B-Plan Nr. 4445a, Nördlich der Rothenburger Straße
(Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl / Hening Larsen [113])

Abbildung 47: Öffentliche Kastenrinne (abgedeckt) für Grundstücks- und Straßenentwässerung
(Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl / Henning Larsen [113])

Abbildung 48: Entwässerung Teil-B-Plan Nr. 4445b, südlich der Rothenburger Straße, westlicher Abschnitt
(Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl / Henning Larsen [113])

Abbildung 49: Entwässerung Bildungszentrum südlich der Rothenburger Straße, mittlerer Abschnitt
(Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl / Henning Larsen [113])

Abbildung 50: Visualisierung Obstmarkt
(Quelle: Schegk Landschaftsarchitekten & BDLA Stadtplaner)

Abbildung 51: offene Baumscheiben
(Quelle: Stadt Nürnberg)

Abbildung 52: Visualisierung Umgestaltung der Ambergerstraße
(Quelle: Planungsgruppe Landschaft)

Abbildung 53: Das Schwammstadtprinzip
(Quelle: © Bärbel Rhades, FAU Erlangen Nürnberg)

Abbildung 54: Flexibox Wasserkissen für Einsätze von Versickerungsversuchen & Bewässerung.
(Quelle: Flexibox Container GmbH)

Abbildung 55: Eine der typischen LDM-Kanalschleusen bei Randeck/Altmühltal (oben) und der Distellochdamm mit dem Ludwig-Donau-Main-Kanal, 1 km SE' Burgthann/Lkr. Nürnberger Land (unten). Kolorierte Stahlstiche von Alexander Marx, Kupferstecher in Nürnberg (1848).

Abbildung 56: Grundriss einer Schleuse des LDM-Kanals nördlich der Scheitelhaltung. Umgezeichnet und ergänzt nach einer Aufnahme des Wasserstraßenamtes Nürnberg vom 26. Juli 1945
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Abbildung 57: Regelplan einer Schleuse des LDM-Kanals: Querschnitt der Schleusenkammer (oben) und Ansicht am Unterhaupt (unten). Umgezeichnet und ergänzt nach einer Aufnahme des Wasserstraßenamtes Nürnberg vom 26. Juli 1945
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Abbildung 58: Das Hafenbecken der "Lände" in Worzeldorf mit der mustergültig restaurierten LDM-Schleuse 68
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Abbildung 59: Die LDM-Kanalschleuse 70 im noch originalem Ausbauzustand und die SSE' anschließende "Schellerhaltung" vor der Ausbaggerung und Entschlammung im Jahre 1984
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Abbildung 60: Der Ottergraben-Leitgraben mit seiner Einmündung in den LDM-Kanal unterhalb der Schleuse 70
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Abbildung 61: Der rund 530 m lange Teil der LDM-Kanalhaltung SE' der Schleuse 71 beim "Weißen Häusle" am Marthweg/Nürnberg
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Abbildung 62: Längen- und Höhenprofil des Ludwig-Donau-Main-Kanals zwischen Diana-/Minervastraße in der Nürnberger Südstadt und der Stadtgrenze E' Worzeldorf; 50-fache Überhöhung. Erstellt nach Angaben von FUCHS (1956), BERGER (1978, 1979), BAIER (2011) sowie Bohrverzeichnissen des LfU Bayern
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Abbildung 63: Regelquerschnitt des Kanalbetts des LDM-Kanals mit den Wasserflächen bei 1,61 m Wassertiefe (unten) und -- im nahezu verlandeten Zustand -- bei lediglich 0,58 m Wassertiefe (oben). Kanalprofil und Abmessungen n. PECHMANN (1846) und n. SCHULTHEIS (1847)
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Abbildung 64: Bewertung von Starkregenereignissen nach Schmitt et al. 2018 [141] und Zuordnung der Starkregenereignisse 2013-2022 sowie der bislang aufgetretenen Ereignisse in 2022; Stand: 11.11.2022
(Quelle: Stadt Nürnberg)

Abbildung 65: Das "Aquarium": ein Büro im Souterrain in der Nürnberger Südstadt während des Starkregenereignisses am 08.06.2021 um 16:43 Uhr. Der Wasserdruck ließ die Fenster wenige Minuten nach Aufnahme des Fotos zerbersten.
(Quelle: privat)

Abbildung 66: Starkregenereignis in Nürnberg am 17.08.2023; hier: Steinbühler Tunnel
(Quelle: Stadt Nürnberg, Feuerwehr)

Abbildung 67: im Bau befindliches Regenrückhaltebecken „Wertacher Straße" im Jahr 2020
(Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik)

Abbildung 68: Überschwemmung am Kothbrunngraben im Februar 2021
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Abbildung 69: Hochwassertunnel Pegnitz
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Abbildung 70: Ufermauern an der Pegnitz
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Abbildung 71: Angepasste Verrohrung schützt vor Überlauf
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Anhang IV

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Prozentuale Verteilung von LHKW-Gehalten in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes in verschiedenen Zeiträumen
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 2: Prozentuale Verteilung von Nitrat-Gehalten in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes in verschiedenen Zeiträumen
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 3: Prozentuale Verteilung von PSM-Summen-Gehalten in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes in verschiedenen Zeiträumen
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 4: Prozentuale Verteilung von Chlorid-Gehalten in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes in verschiedenen Zeiträumen
(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)

Diagramm 5: Zeitreihen der Nitratbelastungen an 12 Brunnen des WWA-Messnetzes
(z.T. mit Daten historischen Daten Dritter
(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

Diagramm 6: Zeitreihe der gemessenen Nitratwerte bei einem Industriebrunnen in Buch
(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

Diagramm 7: Überblick über die Anzahl der Auskünfte aus der Altlastendatenbank
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 8: Diagramme über den jahreszeitlichen Temperaturgang der oberflächennahen Bodenschichten bis 20 m unter Geländeoberkante

Diagramm 9: Graphische Darstellung der Ergebnisse zweier unterschiedlicher Methoden zur Messung von Grundwasser-temperaturen
(Quelle: J. Schweighofer)

Diagramm 10: Vertikale Temperatur-Tiefenprofile ausgewählter Grundwassermessstellen, klassifiziert nach der Landnutzung (LU/LC);
(Quelle: J. Schweighofer)

Diagramm 11: Temperatur-Tiefenprofile ausgewählter Grundwassermessstellen
(Quelle: J. Schweighofer)

Diagramm 12: Zeitreihenaufnahmen von Grundwassertemperaturen
(Einbautiefen der Datenlogger: 15 m – 27,5 m) an vier ausgewählten Grundwassermessstellen
(Quelle: J. Schweighofer)

Diagramm 13: Anzahl genehmigter Grundwasser-Wärmepumpenanlagen; Stand: 12/2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 14: Anzahl genehmigter Erdwärmesonden-Anlagen; Stand: 12/2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 15: Anzahl von Bohrungen / Sonden bei Erdwärmesonden-Anlagen; Stand: 12/2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 16: Überblick über die installierte Heizleistung bei Erdwärmesonden-Anlagen laut Genehmigungsunterlagen; Stand: 12/2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 17: Jährliche Minimal- und Maximaltemperaturen in der Wärmeträgerflüssigkeit der Erdwärmesondenanlage über eine Nutzungsdauer von 50 Jahren
(Quelle: A. Eber)

Diagramm 18: Jahresgang der Vor- und Rücklauftemperaturen der Wärmeträgerflüssigkeit der Erdwärmesonden-anlage im 50. Betriebsjahr
(Quelle: A. Eber)

Diagramm 19: Überleitungsanteile des Wasserabflusses der Regnitz am Pegel Hüttendorf
(Nördlich, abstromig von Nürnberg) in regenreichen und trockenen Jahren hier 2020, 2021 und 2022
(Quelle WWA Ansbach, verändert)

Diagramm 20: Ausgewählte 10-jährige Grundwasserganglinien von Datenloggermessstellen des Grundwassermonitorings
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 21: Grundwasserganglinien von Messstellen, die durch nahegelegene Entnahmen aus Bewässerungs-brunnen deutlich geprägt sind
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 22: Grundwasserganglinien mit größeren Schwankungsbreiten ohne entnahmebedingte Ursachen
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 23: Grundwasserganglinie des Tiefen Brunnen auf der Kaiserburg Nürnberg
(Messstelle des staatlichen Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg;
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 24: Entwicklungen der Grundwasserstände bei 18 Grundwassermessstellen mit langjährigen Zeitreihen; grau: entnahmebedingt beeinflusste Zeitreihen, hellblau: ohne eindeutigen Trend; Betrachtungszeitraum: Ende 2012 bis Ende 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 25: Niedrigstwerte an Grundwassermessstellen des Bayerischen Landesgrundwassermessnetzes
(Grundnetz-Quantität) seit 2000
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt)

Diagramm 26: Temperaturentwicklung an der Station Nürnberg Flughafen seit 1934
(Stationsdaten: DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 27: Jahresniederschlagssumme an der Station Nürnberg-Flughafen seit 1956
(Stationsdaten: DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 28: Auswertung der Niederschlagssumme der hydrologischen Jahreszeiten an der Station Nürnberg-Flughafen
(Stationsdaten: DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 29: Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung der Stadt Nürnberg - Stand 2021
(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt, Quelle der Daten: Statistisches Jahrbuch der Stadt Nürnberg 2022 [80])

Diagramm 30: Mittlere jährliche Temperaturen für den Regierungsbezirk Mittelfranken der Jahre 1951 bis 2022
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU; Datenquelle: Stationsdaten des Deutschen Wetterdienst, DWD)

Diagramm 31: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag der Jahre 1951 bis 2021 für die Region Nürnberg
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU)

Diagramm 32: Entwicklung der Grundwasserstände an sechs ausgewählten Grundwassermessstellen in der Region Nürnberg. Während die quartären Messstellen (oben) keinen eindeutigen Trend aufweisen, zeigen sich bei den Messstellen im Keuper Bergland (Mitte, unten rechts) sowie im Malmkarst des Jura (unten links) eine Abnahme der gemessenen Grundwasserstände
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU)

Diagramm 33: Anteil der tatsächlichen Grundwasserentnahmemengen nach Nutzungsarten - Mittelwert zwischen 2017 und 2022; vgl. Tabelle 12
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 34: tatsächliche Entnahmemengen; Entwicklungen zwischen 2017 und 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 35: tatsächliche Grundwasserentnahmemengen im Stadtgebiet in Relation zur Grundwasserneubildung
(Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 36: Jahresniederschläge der Jahre 2015 bis 2022 an der Flugwetterwarte Nürnberg - Stationsdaten: Deutscher Wetterdienst DWD
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 37: Wasserstände der Grundwassermessstelle GWM_N0081 (unten) und im Marienbergweiher (oben)
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum)

Diagramm 38: Historische Entwicklung und Prognose des Trinkwasserbedarfs in Nürnberg
(Quelle: N-ERGIE AG)

Diagramm 39: Trinkwasser - Tagesabgaben in Nürnberg
(Quelle: N-ERGIE AG)

Diagramm 40: Grundwassermessstelle Betzenstein
(Quelle: Gewässerkundlicher Dienst Bayern)

Diagramm 41: Grundwassermessstellen Ranna
(Quelle: N-ERGIE AG)

Diagramm 42: Grundwassermessstellen Erlenstegen
(Quelle: N-ERGIE AG)

Diagramm 43: Grundwassermessstellen Genderkingen
(Quelle: N-ERGIE AG)

Diagramm 44: Entwicklung bei den Beregnungsflächen und der Jahresförderung
(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

Diagramm 45: Wasserförderung des Wasserverbandes Knoblauchsland (WVK) in Relation zur Jahresmitteltemperatur
(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

Diagramm 46: Wasserförderung des Wasserverbandes Knoblauchsland (WVK) in Relation zum Jahresniederschlag
(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

Diagramm 47: lange Trockenperioden in der Niederschlagsentwicklung der verschiedenen Jahre; tägliche Niederschlagsdaten aufsummiert, Niederschlagsdaten an der Flugwetterwarte, Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)
(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

Diagramm 48: kumulierte Anzahl genehmigter Versickerungsanlagen im Nürnberger Stadtgebiet im Zeitraum 2000 – 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 49: Prozentualer Anteil der verschiedenen Arten von Versickerungsanlagen an den seit 2000 genehmigten Anlagen im Nürnberger Stadtgebiet - Stand März 2023
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 50: Prozentualer Anteil der verschiedenen Regenwasserbehandlungskonzepte in seit 2013 rechtskräftig gewordenen Bebauungsplänen
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Diagramm 51: Beziehungen zwischen Wasserkörper-Querschnittflächen und unterschiedlichen Wassertiefen des LDM-Kanalbetts
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Anhang V

Kartenverzeichnis

Karte 1: Schwerpunktbereiche mit LHKW-belasteten Entnahmebrunnen und Messstellen (hier: Summe aus „Tri“ und „Per“) im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 2: Schwerpunktbereiche mit LHKW-belasteten Entnahmebrunnen und Messstellen (hier: Summe aus „Tri“ und „Per“) im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 3: LHKW-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 4: LHKW-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 5: Nitratkonzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 6: Nitratkonzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 7: Pflanzenschutzmittel-Konzentration im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 8: Pflanzenschutzmittel-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 9: Chlorid-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2011 und 2016 *(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)*

Karte 10: Chlorid-Konzentration in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)*

Karte 11: Probenahmestellen im Wasserschutzgebiet Erlenstegen *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 12: Auf PFAS untersuchte Beregnungsbrunnen im Knoblauchsland *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 13: Nachweis von PFAS (per- oder polyfluorierte Alkylsubstanzen) in Brunnen und Messstellen des Grundwasserqualitätsmessnetzes von Nürnberg im Mittel zwischen 2017 und 2022 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 14: Nitratbelastungen im Knoblauchsland im Jahr 2022. *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 15: Ergebnisse des Sonderuntersuchungsprogrammes auf Pflanzenschutzmittel 2022 des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg. Die Summe der ermittelten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und der relevanten Metabolite gemäß der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) steht unter dem Punktsymbol und die Summe der nicht relevanten Metabolite über den Punkten *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 16: Chemischer Zustand des Grundwassers *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 17: Chemischer Zustand des Grundwassers bezüglich Nitrat *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 18: Chemischer Zustand des Grundwassers bezüglich PSM – Einzelstoffe *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 19: Lage und Ausdehnung der Flusswasserkörper im Bereich der Stadt Nürnberg *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 20: Chemischer Zustand der Fließgewässer (ohne ubiquitäre Stoffe) *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 21: Ökologischer Zustand der Fließgewässer *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 22: Ausweisungsmessnetz und zu betrachtende Grundwasserkörper *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 23: Gebietskulisse belastete Gebiete *(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)*

Karte 24: Übersichtskarte über die geographische Lage der Stadt Nürnberg in Deutschland und über die räumliche Verteilung der Grundwassermessstellen *(Quelle: J. Schweighofer; Luftbild: ESA hompage, Satellit Sentinel 2A)*

Karte 25: Grundwasser-Temperaturen in Nürnberg. Die Messdaten stammen aus dem Temperatur-Monitoring zwischen 2019 und 2021. Klar erkennbar ist eine Boden- und Grundwassererwärmung vom Stadtrand zum Stadtzentrum. Es wurden dabei Temperaturen zwischen 9,5 und 16°C gemessen *(Quelle: J.Schweighofer)*

Karte 26: Überblick über die geothermischen Nutzung in Nürnberg (Stand 12/2022) *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 27: Auszug aus dem Geoportal Kanton Zürich: Erdwärmesonden (hell- und dunkelgrüne Punkte); *(Quelle: Geoportal Schweiz, Wärmenutzungsatlas; © GIS-ZH, Kanton Zürich [46])*

Karte 28: Grundwasser- und Datenloggermessstellen des Grundwassermonitorings Nürnberg *(Stand 2022; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 29: naturräumliche Lage des Stadtgebietes von Nürnberg mit besonderem Blick auf die Höhenlage und Oberflächengewässer *(Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt; Digitales Höhenmodell DGM25: Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung 2021)*

Karte 30: Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen in Deutschland *(Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, verändert)*

Karte 31: Schema der Überleitung Donau-Main *(Quelle: WWA Ansbach)*

Karte 32: Das Stadtgebiet von Nürnberg: grobe Einteilung der Beeinflussung des Wasserhaushalt in Abhängigkeit von Nutzungsarten - gemäß ALKIS-Daten, Allgemeines Liegenschaftskataster, Stand 2023 *(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 33: Räumliche Verteilung der relevanten oberflächennahen hydrogeologischen Einheiten im Großraum Nürnberg (LfU, 2009) mit Auswahl repräsentativer staatlicher Grundwassermessstellen in den hydrogeologischen Einheiten des Quartär, Jura und Keuper *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU)*

Karte 34: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag (mm/a) in der Region Nürnberg im Zeitraum 1991-2020 (links) und Abnahme der Grundwasserneubildungsraten (mm/a) in der Dekade 2012-2021 (rechts) *(Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU)*

Karte 35: Verteilung der in Betrieb befindlichen Entnahmebrunnen im Stadtgebiet nach Nutzungsarten - Stand 2022 *(Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 36: Verteilung der in Betrieb befindlichen Entnahmebrunnen im Stadtgebiet mit Darstellung der tatsächlichen Entnahmemengen - jährliche Entnahmemenge als Mittelwert zwischen 2017-2022 *(Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)*

Karte 37: Projizierte Darstellung der alten Ausführungspläne des Drainagesystems (Lage ungefähr) *(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum; Kartengrundlagen: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik (SUN); Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltug)*

Karte 38: Übersicht Wassergewinnung *(Quelle: N-ERGIE AG)*

Karte 39: Grundwassergleichenplan Bebauungsplan „Wetzendorf" *(Quelle: R&H Umwelt GmbH [109])*

Karte 40: Flurabstandskarte Bebauungsplan „Wetzendorf" *(Quelle: R&H Umwelt GmbH [109])*

Karte 41: Entwässerungskonzept Bebauungsplan „Wetzendorf" Teil A *(Quelle: Björnsen Beratende Ingenieure GmbH [110])*

Karte 42: Entwässerungskonzept Bebauungsplan „Wetzendorf" Teil B *(Quelle: Björnsen Beratende Ingenieure GmbH [110])*

Karte 43: Geologische und hydrographische Karte des Modellgebiets zwischen der Gartenstadt und Rangierbahnhof/Nürnberg im N und Worzeldorf im S mit dem LDM-Kanal sowie den Oberflächengewässern. Erstellt nach Angaben von FUCHS (1956), BERGER (1978, 1979) sowie BAER (2011) *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

Karte 44: Karte des LDM-Kanals mit den Schleusen 66 bis 74, den Vorflutern mit Leitgräben sowie den modellierten Oberflächen-Abflüsse der Niederschlagswässer im Modellgebiet zwischen der Gartenstadt und Rangierbahnhof/Nürnberg im N und Worzeldorf im S. Die einzelnen Teil-Einzugsgebiete I bis VII E' des LDM-Kanals mit Abstromrichtungen und den Einzugsgebieten der Oberflächengewässer sind zur besseren Unterscheidungsmöglichkeit mit kräftig gehaltenen Farbtönen hinterlegt *(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)*

Anhang VI

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Hauptschadstoffe und Leitparameter
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 2: Prüfwerte für PFAS für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser gemäß neuer BBodSchV (Stand 01.08.2023)

Tabelle 3: PFAS-Schadensfälle im Stadtgebiet von Nürnberg; Stand 06/2023
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 4: Übersicht der Grundwassersanierungen, differenziert nach Schadstoffgruppen, Stand 08/2023
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 5: Übersicht, Datenerhebung an ausgewählten Messstellen zur Überwachung der Temperaturänderungen im Boden und Grundwasser im Zeitraum 2015 – 2020
(Quelle: J. Schweighofer).

Tabelle 6: Vergleich der geothermischen jährlich erzeugten geothermischen Endenergie Schweiz – Deutschland; Stand 2021
(Quelle: A. Eber)

Tabelle 7: Hoch- und Tiefstände der 10-jährigen Zeitreihen von Datenlogger-Messreihen
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 8: Grundwassersituation bei den Grundwasserkarten der Grundwasserberichte Nürnberg
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 9: Gesamtüberblick über die Wasserversorgung im Stadtgebiet Nürnberg im Durchschnitt der Jahre 2017 – 2022
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 10: Die zehn wärmsten Jahre an der Messstation Nürnberg-Flughafen
(Stationsdaten: DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 11: Vergleich der klimatologischen Parameter für die Klimareferenzperioden 1961-1990 und 1991-2020
(Stationsdaten Messstelle Flughafen: DWD; Auswertung: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 12: Überblick über Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet; Mittelwerte zwischen 2017 bis 2022 - inzwischen stillgelegte Anlagen sind hierin noch anteilig enthalten vgl. auch Diagramm 34
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Tabelle 13: Die Vorfluter-Einzugsgebiete östlich des LDM-Kanals im Südlichen Nürnberger Reichswald
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Tabelle 14: Aktuelle Länge der LDM-Kanalhaltungen sowie der Schleusen mit den heutigen Wassertiefen und die hieraus berechneten Wasservolumina im Vergleich zu den maximal aufnehmbaren Wassermengen bei ursprünglichen Wassertiefen der Haltungen und Schleusen
(Quelle: A.Baier, FAU Erlangen-Nürnberg)

Tabelle 15: Maßnahmenspektrum zur Überflutungsvorsorge nach DWA M- 119 [139]
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Anhang VII

Literaturverzeichnis

[1] BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung -TrinkwV), Bonn: Bundesgesetzblatt 2023 I Nr.159, 20.07.2023.

[2] BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV), Bonn: Bundesgesettblatt I S.1802, 09.11.2010 zuletzt geändert durch Art. 1 V v. 12.10.2022 I 1802.

[3] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates - zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, 2000.

[4] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: „Merkblatt Nr. 3.8/1 - Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen - Wirkungspfad Boden-Gewässer," 31.10.2001.

[5] NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ: „LHKW (Trichlorethen und Tetrachlorethen)," [Online]. Available: https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwasserbericht_niedersachsen/grundwasserbeschaffenheit/guteparameter/erganzungsprogramm_des_nlwkn/lhkw_trichlorethen_und_tetrachlorethen/LHKW-137661.html. [Zugriff am 26 07 2023].

[6] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „www.lfu.bayern.de/wasser/grundwasser_nitrat," [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/wasser/grundwasser_nitrat/faq_gw_nitrat/index.htm. [Zugriff am 03 08 2023].

[7] DEUTSCHE BAHN AG: DB besiegelt Glyphosat Ausstieg ab 2023, Pressemitteilung, Berlin, 2023.

[8] STADT NÜRNBERG, REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT: Schwermetallinfo für den Garten, Ein Ratgeber für den richtigen Umgang mit erhöhten Schwermetallgehalten in Kulturböden, Nürnberg, Dezember 2018.

[9] BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT: Hydrochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns; GLA Fachberichte Bd. 21, München: Bayerisches Geologisches Landesamt, 2003.

[10] ÖSTERREICHISCHE VEREINIGUNG FÜR DAS GAS- UND WASSERFACH: „Was sind PFAS?," 2022. [Online]. Available: https://www.unsertrinkwasser.at/was-sind-pfas/. [Zugriff am 26 07 2023].

[11] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Vorläufige Leitlinien zur Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Wasser und Boden," 07 2022. [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/doc/leitlinien_vorlaufbewertung_pfc_verunreinigungen.pdf. [Zugriff am 26 07 2023].

[12] STADT NÜRNBERG, REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT: Grundwasserbericht 2017, Nürnberg, 2017.

[13] UMWELTBUNDESAMT: „Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nichtrelevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln (PSM)," Umweltbundesamt, 2021.

[14] EC- EUROPEAN COMMISSION: „SANCO 221/2000 - rev. 10, Guidance document on the assessment of the relevance of metabolites in groundwater of substances regulated under council directive 91/414/EEC," 2003.

[15] UMWELTBUNDESAMT: „Nicht relevante Metaboliten von Pflanzenschutzmitteln - Daten und Fakten zu einer unterschätzten Stoffgruppe," Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2022.

[16] BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA): „Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit - Pflanzenschutzmittel - Berichtszeitraum 2013 - 2016," Gotha, 2019.

[17] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ/ BUNDESAMT FÜR JUSTIZ: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV), 2016.

[18] LAWA BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER: „LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (WRRL,HWRMRL, MSRL)," 2022.

[19] BAYERISCHES MINISTERIALBLATT: Verordnung über besondere Anforderungen an die Düngung und Erleichterungen bei der Düngung (Ausführungsverordnung Düngeverordnung – AVDüV), 2020.

[20] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Gewässerbewirtschaftung nach Wasserrahmenrichtlinie," [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/uab/index.htm. [Zugriff am 0808 2023].

[21] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Gewässerkundlicher Dienst Bayern," 2023. [Online]. Available: https://www.gkd.bayern.de/en/. [Zugriff am 26 07 2023].

[22] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV Gebietsausweisung – AVV GeA)," 12 08 2020.

[23] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Nitrat im Grundwasser," [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/wasser/grundwasser_nitrat/index.htm. [Zugriff am 26 07 2023].

[24] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT: „Ausführungsverordnung DüV – rote Gebiete, gelbe Gebiete," [Online]. Available: https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/207027/index.php. [Zugriff am 26 07 2023].

[25] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „So werden eutrophierte Gebiete ausgewiesen (gemäß Düngeverordnung 2020)," [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesser_seen_phosphor/eutrophierte_gebiete/index.htm. [Zugriff am 26 07 2023].

[26] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN: „Sensoren für die variable Stickstoffdüngung - Funktionsprinzipien und Marktübersicht," [Online]. Available: https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/33577_Sensoren_fuer_die_variable_Stickstoffduengung_-_Funktionsprinzipien_und_Marktuebersicht. [Zugriff am 13 06 2023].

[27] HOCHSCHULE GEISENHEIM UNIVERSITY: „GEOSENSYS," [Online]. Available: https://www.hs-geisenheim.de/gemuesebau/bewaesserung/geosensys/. [Zugriff am 13 06 2023].

[28] NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ: „Themenbericht Pflanzenschutzmittel II - Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser, Grundwasser Band 39," Norden, 2020.

[29] UMWELTBUNDESAMT: „Neue EU-Verordnung: Weniger Pestizide geht nur mit Anreizen für die Landwirtschaft," 2022.

[30] BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL): „Folienserie Naturhaushalt Modul 5: Schutz des Grundwassers," 2019.

[31] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Merblatt Nr. 3.8/1 Stand: 05/2023 Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden Grundwasser," 2023.

[32] ANDREAS, HENNING; LIMBERG, ALEXANDER: „Veränderung des oberflächennahen Temperaturfeldes von Berlin durch Klimawandel und Urbanisierung," 2012.

[33] SCHWEIGHOFER, JULIAN: Monitoring und geothermische Potenzialanalyse einer urbanen Wärmeinsel des oberflächennahen Untergrundes, Erlangen, 2023.

[34] MENBERG, K., ET. AL.: „Subsurface urban heat islands in german cities," Science of the total environment, Bd. 442, pp. 123-133, 2013.

[35] FREY, ANDREAS: „Hitzefalle unter den Großstädten," 23 10 2018. [Online]. Available: https://www.spektrum.de/news/schaden-geothermie-und-klimawandel-dem-grundwasser-und-dessen-fauna/1603656. [Zugriff am 27 07 2023].

[36] ERNSTSON, K.: „Geologische und geophysikalische Untersuchungen," in Handbuch Oberflächennahe Geothermie, Springer Spektrum, Berlin, 2018.

[37] STADT NÜRNBERG: UMWELTAMT, „Nutzung von Erdwärme mittels Erdwärmesonden und Wärmepumpen," [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/geothermie.html. [Zugriff am 27 07 2023].

[38] FRAUENHOFER IEG: Roadmap Geothermie: Erdwärmepumpen für die Energiewende - Potenziale, Hemmnisse und Handlungsempfehlungen, Bochum, 2022.

[39] BUNDESMINISTERIEN FÜR WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ, WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND BAUWESEN: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes und zur Ände-rung der Heizkostenverordnung sowie zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung., 2023.

[40] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT: Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern, 2012.

[41] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V. (VDI): Thermische Nutzung des Untergrundes. Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen - VDI-Richtlinie 4640 Teil 2, 2019.

[42] SCHWEIZERISCHER INGENIEUR- UND ARCHITEKTENVEREIN: Erdwärmesonden - SIA-Norm 384/6, 2010.

[43] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT: Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern; Frost-Tau-Wechsel Problematik beim Betrieb von Erdwärmesonden, 2012.

[44] LINK, KATHARINA: Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz - Ausgabe 2021, Bern, 2022.

[45] UMWELT BUNDESAMT: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, 2023.

[46] GEOPORTAL SCHWEIZ: „www.Geoportal.ch," [Online]. Available: https://www.geoportal.ch/. [Zugriff am 27 07 2023].

[47] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Umweltatlas Bayern," [Online]. Available: https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/umweltatlas/index.html?lang=de. [Zugriff am 27 07 2023].

[48] STADT NÜRNBERG, UMWELTAMT: Grundwassermonitoringprogramm, Nürnberg, 2022.

[49] STADT NÜRNBERG, UMWELTREFERAT: Grundwasserbericht 2011, Nürnberg, 2011.

[50] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: Wasser für Franken - „Die Überleitung Donau-Main", München, 2018.

[51] STADT NÜRNBERG, UMWELTAMT: „Bauen im Grundwasser," [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/bauenimgrundwasser.html. [Zugriff am 27 07 2023].

[52] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: „Klima-Report Bayern 2021-Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten," 2021.

[53] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Klimawandel und Wasserhaushalt - Auswirkungen auf das Grund- und Bodenwasser," [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/wasser/klimawandel_wasserhaushalt/auswirkung_auf_wasserhaushalt/grund_bodenwasser/index.htm. [Zugriff am 27 07 2023].

[54] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: „UN-Wasserdekade," 2023. [Online]. Available: https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/binnengewaesser/un-wasserdekade. [Zugriff am 28 07 2023].

[55] VEREINTE NATIONEN (UN): „Water Action Decade," 2022. [Online]. Available: https://wateractiondecade.org/. [Zugriff am 28 07 2023].

[56] UMWELT BUNDESAMT: 20 Jahre Wasserrahmenrichtlinie: Empfehlungen des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 2021.

[57] EUROPÄISCHES PARLAMENT: „Kurzdarstellungen zur Europäischen Union - Schutz und Bewirtschaftung von Gewässern," 2023. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/factsheets/de/sheet/74/schutz-und-bewirtschaftung-von-gewassern. [Zugriff am 28 07 2023].

[58] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: „Nationale Wasserstrategie," 15 03 2023.

[59] BAYERISCHE STAATSREGIERUNG: „Wasserzukunft Bayern 2050: Wasser neu denken! - Regierungserklärung des Bayerischen Staatsministers für Umwelt und Verbraucherschutz," 28 10 2020. [Online]. Available: https://www.bayern.de/wasserzukunft-bayern-2050-wasser-neu-denken/. [Zugriff am 28 07 2023].

[60] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: „Zukunftstprojekt "SÜSWasser" vorgestellt, Pressemitteilung," 21 07 2023. [Online]. Available: https://www.stmuv.bayern.de/aktuell/presse/pressemitteilung.htm?PMNr=148/23. [Zugriff am 17 08 2023].

[61] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: „Wasserzukunft Bayern 2050," 2023. [Online]. Available: https://www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/wasserzukunft_bayern_2050/index.htm. [Zugriff am 28 07 2023].

[62] WETTERKONTOR: „Jahresniederschlagsmenge in ausgewählten Städten in Deutschland im Jahr 2022," Statista, 01 2023. [Online]. Available: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/583161/umfrage/jahresniederschlagsmenge-in-ausgewaehlten-staedten-in-deutschland/. [Zugriff am 28 07 2023].

[63] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD): „Mittlere jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland," Umwelt Bundesamt, 08 03 2023. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/bild/mittlere-jaehrliche-niederschlagshoehe-in. [Zugriff am 28 07 2023].

[64] BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE: „Mittlere jährliche Grundwasserneubildung von Deutschland," [Online]. Available: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Had/Was_had_abb_gwn1000.html. [Zugriff am 08 08 2023].

[65] SPÖCKER, RICHARD G.: Der Untergrund von Nürnberg - Geologisch-Hydrologisches Handbuch, Nürnberg: Lorenz Spindler Verlag, 1964.

[66] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: Klima-Report Bayern 2021, München, April 2021.

[67] AMT FÜR STADTFORSCHUNG UND STATISTIK FÜR NÜRNBERG UND FÜRTH: „Bevölkerungsentwicklung in Nürnberg und Fürth im Jahr 2022 - Auswirkungen von Corona und des russischen Angriffskriegs," Nürnberg und Fürth, 2023.

[68] UMWELTBUNDESAMT: „Die Wasserressourcen Deutschlands," 14 11 2022. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#wassernachfrage. [Zugriff am 28 07 2023].

[69] BDEW BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT: „Trinkwasserverwendung im Haushalt," 2022. [Online]. Available: https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/trinkwasserverwendung-im-haushalt/. [Zugriff am 29 08 2023].

[70] STADT NÜRNBERG, AMT FÜR KOMMUNIKATION UND STADTMARKETING: „Zu wenig Wasser in der Gründlach," 12 08 2022. [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/presse/mitteilungen/presse_80451.html. [Zugriff am 28 07 2023].

[71] WINTERBERG, LARS: „Wasser- Alltagsgetränk, Prestigeprodukt, Mangelware," Bonner kleine Reihe zur Alltagskultur Band 9, 2007.

[72] MUSEUMSPÄDAGOGISCHES ZENTRUM (MPZ) DIGITAL: „Sauberes Wasser - ein kostbares Gut," [Online]. Available: https://www.mpz-digital.de/sauberes-wasser/. [Zugriff am 28 07 2023].

[73] PFITZINGER-SCHIELE, HELGA: „Überleitungssystem Donau-Main," Wasserforum Mittelfranken, 22 09 2022. [Online]. Available: https://www.grundwasserschutz.bayern.de/regionales/mittelfranken/doc/pfitzinger_schiele_ueberleitungssystem_donau_main.pdf. [Zugriff am 28 07 2023].

[74] BUNDESVEREINIGUNG DER KOMMUNALEN SPITZENVERBÄNDE: „Stellungnahme zum Entwurf der Nationalen Wasserstrategie vom November 2022," 2022.

[75] BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE: „Änderung der erneuerbaren Wasserressourcen in Deutschland," Koblenz, 2022.

[76] HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM, DEUTSCHES GEOFORSCHUNGSZENTRUM (GFZ): „Deutschland verlor in den letzten zwanzig Jahren durchschnittlich 760 Mio. Tonnen Wasser pro Jahr," 03 04 2023. [Online]. Available: https://www.gfz-potsdam.de/presse/meldungen/detailansicht/deutschland-verlor-in-den-letzten-zwei-jahrzehnten-durchschnittlich-760-millionen-tonnen-wasser-pro-jahr. [Zugriff am 28 07 2023].

[77] HOFER, SARAH: „WFW beantragt neues Wasserrecht für die kommenden 30 Jahre," gwf Wasser | Abwasser, 10 05 2023. [Online]. Available: https://gwf-wasser.de/branche/wfw-beantragt-neues-wasserrecht-fuer-die-kommenden-30-jahre/. [Zugriff am 28 07 2023].

[78] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD): „Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2022. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt," Offenbach, 2023.

[79] STADT NÜRNBERG, AMT FÜR STADTFORSCHUNG UND STATISTIK FÜR NÜRNBERG UND FÜRTH: Statistisches Jahrbuch der Stadt Nürnberg 2016, Nürnberg, 2016.

[80] STADT NÜRNBERG, AMT FÜR STADTFORSCHUNG UND STATISTIK FÜR NÜRNBERG UND FÜRTH: Statistisches Jahrbuch der Stadt Nürnberg 2022, Nürnberg, 2022.

[81] SCHEFFER, F.; ET. AL: Lehrbuch der Bodenkunde, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1998.

[82] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (LFS): Bayern in Zahlen, Fachzeitschrift für Statistik Ausgabe 07/2022.

[83] KOPP ET AL.: „Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen von 1951 bis 2015," Hydrologie und Wasserbewirtschftung, 62,(2), pp. 62-76, 2018.

[84] GUDERA, THOMAS; MORHARD, ANDREAS: „Hoch aufgelöste Modellierung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung mit GWN-BW," Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 59 (5), pp. 205-216, 10 2015.

[85] FLISS ET AL.: „Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser und die Wasserversorgung in Süddeutschland," Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 26, pp. 33-45, 2021.

[86] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern (NID)," [Online]. Available: https://www.nid.bayern.de/. [Zugriff am 31 07 2023].

[87] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Hochwassernachrichtendienst Bayer," [Online]. Available: https://www.hnd.bayern.de/. [Zugriff am 31 07 2023].

[88] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Hydrogeologie in Bayern," [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/geologie/hydrogeologie/index.htm. [Zugriff am 31 07 2023].

[89] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU): „Langzeitverhalten von Grundwasserständen und Quellschüttungen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz," Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG), Ottobrunn, 2021.

[90] REGIERUNG VON MITTELFRANKEN: „Wasserversorgungsbilanz Mittelfranken - Bestandsanalyse + Entwicklungsprognose 2025," Ansbach, 2016.

[91] UMWELTBUNDESAMT: „Wasserressourcen und ihre Nutzung," 15 11 2022. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#wassernachfrage. [Zugriff am 31 07 2023].

[92] UMWELTBUNDESAMT: „Nutzung der Wasserressourcen". [Online]. Available: Indikator: Nutzung der Wasserressourcen | Umweltbundesamt [Zugriff am 28 09 2023].

[93] LAWA BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER: „Aktualisierung und Anpassung der LAWA-Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie, Teil 3, Kapitel II.1.2 -Grundwasser-," 09 2019. [Online].

[94] BERTHOLD, G. (HLUG), GUDERS, TH. (LUBW), HOLTHUSEN, H. (LLUR), KUHN, K. (LFULG), LORENZ, R. (TLUG), PETERS, A. (TLUG), SCHÄFER, W. (LBEG), SCHWERDTFEGER, B. (LUNG), SPRENGER, W. (LFU, BAY.), WOLTER, W. (UBA): „Sachstandbericht - Fachliche Umsetzung der EG-WRRL - Teil 5 - Bundesweit einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustands," 2011.

[95] BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT: „Geologische Karte 1:50 000 - Nürnberg-Fürth-Erlangen und Umgebung," München, 1977.

[96] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD): „Niederschlag: vieljährige Mittelwerte 1981 - 2010," 11 02 2021. [Online]. Available: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_fest_html.html?view=nasPublication&nn=16102. [Zugriff am 31 07 2023].

[97] BDEW BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V.: „Trinkwasserverwendung im Haushalt 2021," 30 03 2022. [Online]. Available: https://www.bdew.de/media/documents/Trinkwasserverwendung_im_HH_2021_jaehrlich_o_online_Hk_30032022.pdf. [Zugriff am 31 07 2023].

[98] STADT NÜRNBERG: „Gewässerbenutzung," 2023. [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/gewaesserbenutzung.html.

[99] BERNHARDT JJ, ROFLES L, KREINS P, HENSELER M: „Ermittlung des regionalen Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft in Bayern," Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, 2022.

[100] ARBEITSGEMEINSCHAFT LANDTECHNIK UND LANDWIRTSCHAFTLICHES BAUWESEN IN BAYERN E.V. (ALB BAYERN): „Bewässerungs-App," [Online]. Available: https://www.alb-bayern.de/De/Bewaesserung/Steuerungsmodelle/steuerung-beregnung-entscheidungshilfe_BewaesserungsApp.html. [Zugriff am 31 07 2023].

[101] STADT NÜRNBERG: „Beschluss des Umweltausschusses vom 09.10.2013 und des Stadtplanungsausschusses vom 07.11.2013," Ratsinformationssystem der Stadt Nürnberg, Nürnberg.

[102] BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA): „Auf dem Weg zur wassersensiblen Stadtentwicklung - Erfordernisse aus Sicht der Wasserwirtschaft," Berlin, Juni 2021.

[103] STADT NÜRNBERG, UMWELTAMT: „Regenwasserbewirtschaftung," [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/regenwasser.html. [Zugriff am 31 07 2023].

[104] STADT NÜRNBERG, STADTENTWÄSSERUNG UND UMWELTANALYTIK (SUN): „Zukunftsweisender und nachhaltiger Umgang mit Regenwasser," 03 2016. [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/imperia/md/sun/dokumente/sun/regenwasser.pdf. [Zugriff am 31 07 2023].

[105] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V. (FLL): „Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen," 2018.

[106] BGMR LANDSCHAFTSARCHITEKTEN GMBH / STADT NÜRNBERG, REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT: Mehr Grün im Nürnberger Süden - Eine Potentialanalyse, Berlin, 2022.

[107] WINKLER, M.; MATZINGER, A.; ANTEROLA, J.; FRICK-TRZEBITZKY, F.; PILLEN, J.; SCHRAMM, E.: „Infokarten für die Planung blau-grün-grauer Infrastrukturen. Forschungsverbund NetWORKS," Frankfurt am Main, 2022.

[108] STADT NÜRNBERG, UMWELTAMT: „Freiraumkonzept Nürnberger Süden," [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/freiraumkonzeptnuernbergersueden.html. [Zugriff am 31 07 2023].

[109] R & H UMWELT GMBH/ DEISSINGER, PAUL: Erkundung der Grundwassersituation Bebauungsplan Nr. 4641 "Wetzendorf" - Gutachten, Nürnberg, 2021.

[110] BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE GMBH: Planung Stadtteilpark "Wetzendorf" Bebaungsplan Nr. 4641 - Entwässerungskonzept, 2022.

[111] CARSTENSEN D., ROSTAN F., VOLLWEILER T., KÖGEL M.: „Machbarkeitsstudi und limnologische Bewertung der neuen Wasserfläche Tiefes Feld," Technische Hochschule Nürnberg, Institiut für Wasserbau und Wasserwirtschaft Nürnberg, Nürnberg, 2020.

[112] ADLEROLESCH LANDSCHAFTSARCHITEKTEN: „Tiefes Feld Nürnberg - Freiflächenrahmenplan," Nürnberg, 2021.

[113] RAMBOLL STUDIO DREISEITL/HENNING LARSEN - ANDREA, LEA/ GASSER, VERENA/ BRÜCKMANN, STEFAN: B-Plan 4445A, 4445B Aktualisierung und Fortschreibung des bestehenden Regenwasser Entwässerungskonzeptes und 4445C mit Freiflächenrahmeplan, 2021.

[114] STADT NÜRNBERG, REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT, UMWELTAMT: „Grüner Weg zum Faberwald - Konzeptstudie," Nürnberg, 2021.

[115] KRON, W.; LOW, P.; KUNDZEWICZ, Z. W.: „Changes in risk of extreme weather events in Europe," Environ. Sci. Policy 100, pp. 74-83, 2019.

[116] DEUTSCHE PRESSE-AGENTUR (DPA): „Die schlimmste Dürreperiode seit mindestens 500 Jahren," Nordbayerische Nachrichten, 24 08 2022.

[117] ENGLISCH, R.: „In Franken herrscht jordanisches Klima. Umweltminister Thorsten Glauber plant eine gigantische Ringleitung, die den Norden mit Wasser aus dem Süden versorgen soll," Nürnberger Nachrichten, 23 07 2022.

[118] BÖLLER, H.: „Die Stadt, ein heißes Pflaster. In Nürnberg kann es bis zu zehn Grad wärmer sein als im Umland, der Kampf um Kühle stößt oft an Grenzen," Nürnberger Nachrichten, 18 07 2022.

[119] HELIK-ACHNEK, W.: „Freiraumkonzept für mehr Grün. Wo es viel zu wenig Grünflächen gibt - und warum sich das so schnell nicht ändert," Nürnberger Nachrichten, 25 10 2022.

[120] STADT NÜRNBERG, STIFTUNG BÄUME FÜR NÜRNBERG: „Mehr Grün für Nürnberg," [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/internet/baumstiftung/ziele.html. [Zugriff am 1 08 2023].

[121] STADT NÜRNBERG, SERVICEBETRIEB ÖFFENTLICHER RAUM: „Straßenbaumbericht 2019," Nürnberg, 2019.

[122] NÜRNBERGER NACHRICHTEN: „Auszeichnung für die Wässerwiesen Rednitztal," 22 09 2022.

[123] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (DWA): „Arbeitsblatt DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser," 2006.

[124] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (DWA): „Kommentar zum Regelwerk Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Kommentar zum Arbeitsblatt DWA-A 138," 2009.

[125] HAFENCITY UNIVERSITÄT HAMBURG: „Vitalisierung technischer Lebensräume - Planung und Umsetzung von Pflanzgruben," 2020. [Online]. Available: https://www.hcu-hamburg.de/research/forschungsgruppen/reap/reap-projekte/bluegreenstreets/vitalisierung-technischer-lebensraeume/. [Zugriff am 1 08 2023].

[126] EUROPÄISCHE KOMMISION: „Water reuse - Managing water resources more efficiently and facilitating water reuse in the EU," [Online]. Available: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-reuse_en. [Zugriff am 1 08 2023].

[127] BAIER, A.: „Nürnberger Flussgeschichte. Eine Rekonstruktion der Quartärbasis und der Paläotäler im Untergrund von Nürnberg," Geologische Blätter Nord-Ost-Bayern 61, pp. 23-56, 2011.

[128] UNIVERSITÄT ZÜRICH: „crowd water," [Online]. Available: https://crowdwater.ch/de/home/. [Zugriff am 1 08 2023].

[129] DEUTSCHE PRESSE-AGENTUR: „Immense Bedeutung für uns alle. Das Bundeskabinett beschließt eine Nationale Wasserstrategie," Nordbayerische Nachrichten Nürnberg, 16 03 2023.

[130] FRANZKE, J.: „Auf den Spuren des alten Kanals," in [Liedel, H. & Dollhopf, H.]: Der alte Kanal damals und heute, Würzburg, Stürz-Verlag, 1981, pp. 46-51.

[131] MUSEEN DER STADT NÜRNBERG: „Der Ludwigs-Donau-Mainkanal. Ausstellung im Stadtmuseum Fembohaus anläßlich der Eröffnung des Nürnberger Staatshafens," Nürnberg, Fränkische Verlagsanstalt und Buchdruckerei GmbH, 1972.

[132] SCHREYL, K.-H.: „Der Ludwigs-Donau-Main-Kanal," in [Museen der Stadt Nürnberg]: Ausstellung im Stadtmuseum Fembohaus anläßlich der Eröffnung des Nürnberger Staatshafens, Nürnberg, Fränkische Verlagsanstalt und Buchdruckerei GmbH, 1972, pp. 5-23.

[133] VON PECHMANN, H.: Der Ludwig-Canal: Eine kurze Beschreibung dieses Canales und die Ausführung desselben, München: Jos. Lindauer'sche Buchhandlung, 1846.

[134] ILLMANN, R.: „Auf den Spuren des Ludwig-Donau-Main-Kanals. Eine Bestandsaufnahme nach 175 Jahren," Natur und Mensch. Jahresmitteilungen 2020 der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V., 2022.

[135] BRUCKNER, D.; SEUSS, J.: 111 Orte in Nürnberg, die man gesehen haben muss, Köln: Emons-Verlag, 2022.

[136] BIRZER, F.:Der Schwarzach-Brückkanal, Erlangen, Geol. Bl. NO-Bayern 30, 3/4: 196-202, Erlangen 1980.

[137] BERGER, K.B.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 6633 Feucht., München, 1979.

[138] BAIER, A.: „Wichtige hydrogeologische Einheiten und deren Ausprägung," in [Stadt Nürnberg. Referat für Umwelt und Gesundheit]: Grundwasserbericht 2017, Nürnberg, 2018.

[139] SCHULTHEIS, F.: Der Ludwig-Kanal. Seine Entstehung und Bedeutung als Handels-Strasse, Nürnberg, 1847.

[140] SCHÜSSEL, J.: „Die Zerstörung eines Lebensraumes mit "Ausnahmegenehmigung" der Höheren Naturschutzbehörde," Natur und Mensch. Jahresmitteilungen 1984 der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V., pp. 73-76, 1985.

[141] SCHMITT, T. ET AL.: „Einheitliches Konzept zur Bewertung von Starkregenereignissen mittels Starkregenindex," Korrespondenz Abwasser, Abfall 65(2), pp. 113-120, 2018.

[142] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD): „KOSTRA-DWD," [Online]. Available: https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra_dwd_rasterwerte/kostra_dwd_rasterwerte.html. [Zugriff am 1 08 2023].

[143] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (DWA): „DWA M-119: Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen," 11 2016.

[144] STADT NÜRNBERG, AMT FÜR KOMMUNIKATION UND STADTMARKETING: „Pressemitteilung: Neues Regenrückhaltebecken stärkt Kanalsystem gegen Starkregen," 30 05 2023. [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/presse/mitteilungen/presse_85377.html. [Zugriff am 1 08 2023].

[145] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: „Checkliste: So schützen Sie sich vor Hochwasser," 11 2018. [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_127_hochwasser_checkliste.pdf. [Zugriff am 1 08 2023].

[146] STADT NÜRNBERG, UMWELTAUSSCHUSS am 06.10.2021: TOP Ö 2 - Umgang mit Starkregenereignissen, 2021.

[147] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EUROPÄOSCHEN UNION: „Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates - über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken," 27 10 2007. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32007L0060. [Zugriff am 27 10 2023].

[148] STADT NÜRNBERG, UMWELTAMT: „Sicherung von Überschwemmungsgebieten," [Online]. Available: https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/uig_ueberschwemmungsgebiete.html. [Zugriff am 1 08 2023].

[149] STADT NÜRNBERG: Satzung der Stadt Nürnberg über die Begrünung baulicher Anlagen und unbebauter Flächen (Begrünungssatzung - BegrS), 2022.

[150] CHRISTEN, A. UBC GEOGRAPHY: [Online]. Available: www.flickr.com/photos/140969380@N07/33362501875/in/photostream, CC BY 2.0.

Anhang VIII

Autorenverzeichnis

Textbeiträge externer Organisationen:

Splitgerber, H.
Wasserwirtschaftsamt Nürnberg; Allersberger Straße 17/19; 90461 Nürnberg
1.1.4 Grundwasserbelastungssituation im Knoblauchsland –Sonderuntersuchungsprogramm des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg

Dr. Frühauf, H.
Wasserwirtschaftsamt Nürnberg; Allersberger Straße 17/19; 90461 Nürnberg
1.1.5 Zustand der Gewässer gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie
1.1.6 Nitratbelastete Gebiete – Ausweisung Roter Gebiete nach Düngeverordnung

Spirkaneder, A.
Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG); Galgenfuhr 21, 96050 Bamberg
1.1.7.1 Optimierung der Düngung

Hofbauer, J.
Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Fürth-Uffenheim; Jahnstraße 7; 90763 Fürth
1.1.7.2 Vorgaben und Entwicklungen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Dr. Schweighofer, J.
GeoZentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Nürnberg; Schlossgarten 5; 91054 Erlangen
1.2.2 Grundwassertemperaturverteilung in Nürnberg

Eber, A.
Privater Sachverständiger der Wasserwirtschaft (PSW); EBR – Alexander Eber - Geo- & umwelttechnische Planung und Beratung, Buschweg 34, 90768 Fürth
1.2.4 Thermische Interaktion und gegenseitige Beeinflussung geothermischer Anlagen

Dr. Kopp, B.; Dr. Neumann, J.
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 92; Hans-Högn-Straße 12; 95030 Hof/Saale
2.3.3 Grundwasserneubildung und Grundwasserstände in der Region Nürnberg – Entwicklungen in der Vergangenheit und Ausblick in die Zukunft

Pavlik, J.
N-ERGIE Aktiengesellschaft; Am Plärrer 43; 90429 Nürnberg
2.5 Trinkwasserversorgung der Stadt Nürnberg – Entwicklung in den Wasserschutzgebieten

Dunger, S.
Wasserverband Knoblauchsland; Hofwiesenweg 11; 90427 Nürnberg
2.6.2 Herausforderungen für die Bewässerung des Knoblauchslandes

Dr. Dümig, A.
Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG); Galgenfuhr 21, 96050 Bamberg
2.6.3 Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Bewässerung im Garten- und Ackerbau

Prof. Dr. Barth, J.A.C.; Dr. Baier, A.
GeoZentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Nürnberg; Schlossgarten 5; 91054 Erlangen
2.7.3 Hydrogeologische Strategieplanungen zur Schwammstadt in Nürnberg

Textbeiträge der Stadtverwaltung:

Walthelm, B.; Dr. Köppel, K.
Stadt Nürnberg, Referat für Umwelt und Gesundheit; Hauptmarkt 18, 90403 Nürnberg
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
Vorwort

Wellmann, M.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
Zusammenfassung

Heinel, A.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
1.1.3 Grundwasserbelastungssituation im Stadtgebiet – PFAS

Heinel, A., Späth, D., Schneeweis, B.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
1.1.8 Nachsorgender Grundwasserschutz

Heinel, A.; Veit, C.; Näpfel-Löder, K.; Brückner, A.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
1.2.3 Aktueller Stand der Nutzung von Geothermie in Nürnberg

Albrecht, A.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
2.3.1 Klimatische Entwicklung in Nürnberg
2.8.1 Umgang mit Starkregen im Stadtgebiet Nürnberg

Stadler, S.
Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum; Sulzbacher Straße 2-6; 90489 Nürnberg
2.4 Auswirkungen eines verändernden Wasserhaushalts auf den Naturhaushalt am Beispiel des Marienbergweihers

Zollinger, S.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
2.6.1 Grundwasserschutz im Rechtsvollzug – Das Wasserecht und die Begutachtungspraxis bei Entnahmegenehmigungen

Rech, R.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
2.7.1 Versickerung von Niederschlagswasser – Aktueller Stand

Rech, R.; Jäger, L.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
2.7.2.1 Umgang mit Niederschlagswasser in der Bauleitplanung

Löhr, G.; Schuster, S.
Stadt Nürnberg, Umweltamt; Bauhof 2; 90402 Nürnberg
Alle weiteren Texte

Weitere Informationen und Publikationen:
Referat für Umwelt und Gesundheit: **www.umweltreferat.nuernberg.de**
Umweltamt der Stadt Nürnberg: **www.umwelt.nuernberg.de**