

Daten zur Nürnberger Umwelt /
Sonderausgabe

Grundwasser- bericht 2017



Aktuelles zu:

Grundwasserqualität

Grundwasserquantität

Grundwasserschutz

Hydrogeologie

Geothermie

Wasserhaushalt

Impressum:

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, Gesamtedaktion:

Stadt Nürnberg / Umweltamt
Gisela Löhr, 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 VII – Autorenverzeichnis aufgeführt.

Fotos: vgl. Anhang III – Abbildungsverzeichnis

Diagramme, Karten:

Kartengrundlagen: Amt für Geodaten und Bodenordnung
Karten: vgl. Anhang IV – Kartenverzeichnis
Kartenumsetzung: Elke Hussenöder, wo nichts anderes vermerkt

Gestaltung und Layout: Dr. Reinhold Harrer

Umschlaggestaltung: Stadtgrafik, Herbert Kulzer

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: Hofmann Druck
Emmericher Str. 10
90411 Nürnberg

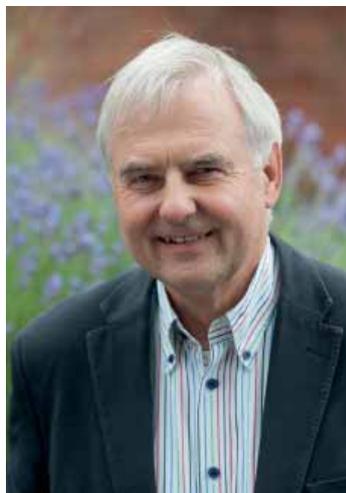
Auflage: 1000 Exemplare

Bezugsadresse: Stadt Nürnberg Umweltamt
Abteilung UwA / 1 Umweltplanung
Lina-Ammon-Straße 28
90471 Nürnberg

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

Nürnberg, September 2018

Vorwort



Dr. Peter Pluschke
Referent für Umwelt und Gesundheit



Dr. Klaus Köppel
Leiter des Umweltamtes

Seit 30 Jahren legt das Umweltamt Grundwasserberichte vor. Wir freuen uns, dass wir hiermit den sechsten Bericht in dieser Reihe vorlegen können. Mit seinen entsprechenden Beschlüssen hat der Umweltausschuss des Nürnberger Stadtrates die Grundlage für diese regelmäßige und umfangreiche Berichterstattung gelegt und damit die Bedeutung eines nachhaltigen Grundwasserschutzes für die Stadt Nürnberg unterstrichen.

Dieser Bericht wurde in intensiver und sehr guter Zusammenarbeit mit zahlreichen Kolleginnen und Kollegen staatlicher Fachbehörden, wissenschaftlicher Institute, Unternehmen und Verbänden sowie verschiedener Stellen der Stadtverwaltung erstellt.

So erarbeiteten auch das Staatliche Wasserwirtschaftsamt Nürnberg, die Bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau, das Geozentrum Nordbayern (Institut für angewandte Geologie, Erlangen), die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Fakultät für Umweltingenieurwesen), der Wasserverband Knoblauchsland, die Deutsche Bahn AG und die Stadtentwässerung und Umweltanalytik der Stadt Nürnberg eigene Beiträge für den vorliegenden Bericht.

Für diese und die insgesamt sehr gute Zusammenarbeit gilt unser herzlicher Dank!

Der vorliegende Bericht lehnt sich in Struktur und Inhalt an den Grundwasserbericht 2011 an und schreibt das Grundwasseruntersuchungsprogramm für das Stadtgebiet Nürnberg aktuell fort. Ein Ergebnis ist, dass weitere Verbesserungen bei der Belastung durch Lösungsmittel und - in gewissem Umfang - Nitrat festgestellt werden können. Nach wie vor liegen jedoch in Teilbereichen des Stadtgebietes erhebliche Belastungen vor. Belastungen durch Pflanzenschutzmittel mussten in Teilbereichen des Stadtgebietes ebenfalls festgestellt werden.

Im Ergebnis wird der - nach EU-Wasserrahmenrichtlinie - angestrebte „gute Zustand“ des Grundwassers im Stadtgebiet nicht überall erreicht. Es besteht damit weiterer Handlungsbedarf. Das Urteil des Europäischen Gerichtshofes vom Juni 2018 gegen die Bundesrepublik Deutschland wegen anhaltend hoher Nitratwerte im Grundwasser zeigt, dass dies eine bundesweite Problematik ist.

Weitere Themen sind die Nutzung des Grundwassers für Bewässerung und Geothermie sowie aktuelle Untersuchungsergebnisse zur hydrogeologischen Beschaffenheit des Nürnberger Untergrundes.

Der Grundwasserschutz ist gesetzlich vorgeschrieben und wird besonders im Zusammenhang mit städtebaulichen Entwicklungen und konkreten Bauvorhaben praxisorientiert umgesetzt. Altlastensanierung, Bauwasserhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser sind hier von besonderem Interesse und werden daher im vorliegenden Bericht gesondert behandelt.

Angesichts der sich offensichtlich mit dem Klimawandel verändernden jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge werden wir uns perspektivisch mehr der Grundwasserneubildung und damit der Wasserbilanz insgesamt zuwenden müssen.

Die gute Verfügbarkeit von Wasser - auch von Trinkwasser - ist für uns seit Generationen eine Selbstverständlichkeit. Damit dies so bleibt, werden in der nächsten Dekade zusätzliche Anstrengungen erforderlich sein.

Eines ist klar: Vorsorgender Grundwasserschutz ist und bleibt eine dauerhafte Gemeinschaftsaufgabe von Politik, Verwaltung, Unternehmen und Bürgern, um diese wertvolle und lebensnotwendige Ressource mit ihren vielfältigen Funktionen im Wasserkreislauf und in den Ökosystemen zu schützen und zu bewahren.

Wir freuen uns in diesem Sinne den aktuellen Grundwasserbericht vorlegen zu können, wünschen eine anregende Lektüre mit vielen aufschlussreichen Einblicken und hoffen, dass die aktuellen Informationen vielfältige Beachtung finden.



Dr. Peter Pluschke
Umweltreferent



Dr. Klaus Köppel
Leiter des Umweltamtes

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
Zusammenfassung und Fazit	7
1. Bedeutung des Grundwassers	9
1.1. Grundwassernahe Standorte	9
1.1.1. Vorkommen und Bedeutung	9
1.1.2. Weitreichende anthropogene Überprägung der grundwassernahen Standorte und die Folgen	10
1.1.3. Schutz, Renaturierung und Entwicklung von grundwassernahen und Feuchtstandorten	10
1.2. Integriertes Stadtentwicklungskonzept – Gemeinschaftsaufgabe „Nürnberg am Wasser“	14
1.3. Bedeutung des Wasserhaushaltes im Klimawandel	16
1.3.1. Klimawandel – Klimaveränderungen im Stadtgebiet Nürnberg und die Folgen für den Wasserhaushalt ..	16
1.3.2. Maßnahmen und Handlungsfelder zur Milderung der Klimawandelfolgen	22
1.3.3. Mögliche Konsequenzen der urbanen Klimaanpassung	25
1.4. Grundwassernutzungen im Stadtgebiet	28
1.5. Bewässerung des Knoblauchslandes – Aktuelles	33
2. Hydrogeologie und Wasserhaushalt	37
2.1. Wichtige hydrogeologische Einheiten und deren Ausprägungen	37
2.2. Das geohydraulische Verhalten des Nürnberger Untergrundes	43
2.3. Die Bedeutung der quartären Lockersedimente	45
2.3.1. Vorkommen und Bedeutung der quartären Deckschichten	45
2.3.2. Das Quartär im Bereich des Pegnitztals bei Erlenstegen	47
2.4. Wasserhaushalt	49
2.4.1. Urbaner Wasserhaushalt	49
2.4.2. Niederschlagsdaten in Nürnberg	50
2.4.3. Daten zum Wasserhaushalt in Nürnberg – lokale Wasserbilanz	51
3. Grundwasseruntersuchungsprogramm Nürnberg	53
3.1. Grundwasserqualität	53
3.1.1. Grundwasserbelastungen im Stadtgebiet - nutzungsspezifische Schadstoffeinträge	53
3.1.2. Überwachung der Grundwasserqualität	57
3.1.3. Leitparameter des Grundwassermonitorings	58
3.1.4. Weitere Parameter - Sondermessprogramm 2014	74
3.1.5. Gewässerqualität gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie	76
3.1.6. Grundwasserbelastungssituation im Knoblauchsland - Untersuchungsaktionen des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg	80
3.1.7. Grundwasseruntersuchungen durch das Labor des Eigenbetriebes Stadtentwässerung und Umweltanalytik der Stadt Nürnberg	85
3.2. Grundwasserquantität im Stadtgebiet Nürnberg	87
3.2.1. Erhebung der Grundwasserstände im Stadtgebiet von Nürnberg	87
3.2.2. Aktuelle Grundwasserstände - Neue Grundwasserkarten	89
3.2.3. Entwicklung der Grundwasserstände im Stadtgebiet	91
3.2.4. Entwicklung des Grundwasserhaushaltes im Knoblauchsland	96

	Seite
3.3. Grundwassertemperatur -----	98
3.3.1. Überwachung der Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet Nürnberg seit 2012 -----	98
3.3.2. Neue Erkenntnisse zu erhöhten Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet Nürnberg -----	99
3.3.3. Jahresgang der Grundwassertemperatur - Auswertung durch das Umweltamt Nürnberg -----	101
4. Geothermie -----	103
4.1. Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Nürnberg - Chancen und Risiken -----	103
4.2. Aktueller Stand der Nutzung der Geothermie in Nürnberg -----	106
4.3. Geothermisches Potential des Nürnberger Untergrundes -----	109
4.4. Anwendungstechnik zur Nutzung der Geothermie -----	116
5. Grundwasserschutz -----	119
5.1. Maßnahmen für die Wasserqualität -----	120
5.1.1. Notwendige Maßnahmen der Landwirtschaft zur Reduzierung der Nitratauswaschung -----	120
5.1.2. Grundwasserschutz durch ökologischen Landbau -----	121
5.1.3. LCKW-Grundwassersanierungen -----	123
5.1.4. PFC-Schadensfall am Flughafen Nürnberg - Vorstellung des Sicherungs- und Sanierungskonzeptes -----	127
5.1.5. Grundwasserüberwachung im Bereich von Altdeponien -----	132
5.1.6. Ermittlung einer Schadstoffausbreitung mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells im Bereich Rangierbahnhof und Ausbesserungswerk Nürnberg -----	135
5.1.7. Altlasten bei Chemischen Reinigungen – Erfahrungen aus 30 Jahren Schadensfallsachbearbeitung - -----	139
5.2. Boden- und Grundwasserschutz bei Baumaßnahmen -----	143
5.2.1. Altlastenrelevanz bei Baumaßnahmen -----	143
5.2.2. Bauvorhaben auf Altlasten- und Altlastenverdachtsflächen -----	145
5.2.3. Bauen und Grundwasser -----	146
5.3. Maßnahmen für einen nachhaltigen Wasserhaushalt -----	150
5.3.1. Ortsnahe Niederschlagswasserbeseitigung – Sachstand in Nürnberg -----	150
5.3.2. Bedeutung und Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens für die Planung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser -----	152
5.3.3. Ortsnahe Niederschlagswasserbeseitigung für Neubaugebiete -----	155
Anhänge	
Anhang I Weiterführende Informationen im Internet -----	157
Anhang II Glossar -----	159
Anhang III Abbildungsverzeichnis mit Quellenangaben -----	165
Anhang IV Kartenverzeichnis -----	170
Anhang V Tabellenverzeichnis -----	171
Anhang VI Literaturverzeichnis -----	172
Anhang VII Autorenverzeichnis -----	180
Anlagen	
Anlage A Grundwassergleichenplan	
Anlage B Flurabstandskarte	
Anlage C Deckschichtenkarte von Nürnberg	
Anlage D Grundwasserbelastungskarte	

Zusammenfassung und Fazit

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit stellt für den Grundwasserschutz im Bund fest:

Grundwasser ist ein wesentliches Element des Naturhaushaltes. Es ist Teil des Wasserkreislaufs und erfüllt wichtige ökologische Funktionen. Grundwasser ist auch die wichtigste Trinkwasserressource Deutschlands. Das Grundwasser muss daher weitgehend vor Verunreinigungen geschützt werden.

Das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz stellt für den Grundwasserschutz in Bayern fest: *Fast all unser Trinkwasser schöpfen wir aus dem Grundwasser. 9 500 Brunnen und Quellen liefern Jahr für Jahr mehr als 860 Millionen Kubikmeter Grund- und Quellwasser für die Wasserversorgung Bayerns. Zwei Drittel davon fließen naturbelassen aus dem Wasserhahn. Naturreines, vitales Grundwasser ist auch Voraussetzung für intakte Quellen, Gewässer und Feuchtgebiete. Diesen Lebensraum und Lebensquell für unsere Nachkommen zu bewahren, liegt in unserer Verantwortung.*

Diesen Zielen und Grundsätzen im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes ist der Grundwasserschutz in Nürnberg verpflichtet.

Mit dem Grundwasserbericht 2011 wurde empfohlen in eine regelmäßige Berichterstattung zum Grundwasserschutz in Nürnberg wieder einzusteigen. Der Umweltausschuss des Nürnberger Stadtrates ist diesem Vorschlag mit Beschluss vom 30.11.2011 gefolgt. In Anlehnung an die Grundwasser-Verordnung des Bundes (GrwV, 2010) wurde der Untersuchungs-Rhythmus auf 6 Jahre festgelegt.

Der Grundwasserbericht 2017 stellt eine Fortsetzung des Berichts aus 2011 dar. Neben der Fortführung des nun zwischenzeitlich 30-jährigen Monitorings der Grundwasserqualität für das Stadtgebiet Nürnberg werden Spezialthemen (z.B. Wasserhaushalt und Klimawandel, Bauen und Grundwasser) untersucht und – auf der Basis der Empfehlungen aus dem Grundwasserbericht 2011 – Ergebnisse vertiefender Untersuchungen für einzelne Parameter (z.B. Chloridgehalte, Pflanzenschutzmittel, Grundwassertemperatur) vorgelegt.

Wesentliche Basis für den vorliegenden fundierten Bericht ist die Existenz eines qualifizierten Netzes aus – in der Regel bereits bestehenden - Grundwassermessstellen, das für den vorliegenden Bericht in Teilbereichen ergänzt wurde und die intensive, sehr gute Zusammenarbeit zahlreicher Expertinnen und Experten aus Verwaltung, Forschung, und privaten Ingenieurbüros. Diese Kooperation spiegelt sich in den vielfältigen Fachartikeln des vorliegenden Berichts wider und zeigt eindrucksvoll die entsprechende umfangreiche Kompetenz in der Region.

Die Bedeutung des Grundwassers für Naturhaushalt, Naherholung und Klimaanpassung / Klimawandel werden in den ersten Kapiteln beschrieben.

Der Klimawandel lässt sich auch in Nürnberg in Form von steigenden Temperaturen, veränderter Niederschlagsverteilung und Zunahme von Extremwetterlagen beobachten. Vermehrte Hochwasserlagen, längere Staunässephasen im Winterhalbjahr sowie starke Grundwasserschwankungen im Jahresverlauf mit zunehmenden Grundwassertiefständen und damit Trockenheit im Sommerhalbjahr sind prognostiziert.

Durchgeführte und / oder geplante Maßnahmen zum Hochwasserschutz, zur Steigerung der Biodiversität (mit den Leitarten Weißstorch und Biber), zur Gewässerrenaturierung (z.B. am Bucher Landgraben), zur Verbesserung der Zugänglichkeit zur Pegnitz (siehe Insel Schütt), zur nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft für das künftige Baugebiet im „Tiefen Feld“ sowie Beispiele zur Dach- und Fassadenbegrünung verdeutlichen das breite Spektrum an Handlungsfeldern und Aktivitäten.

Mit insgesamt über 2.500 bekannten Brunnen wird die hohe ökonomische Bedeutung der Grundwassernutzung im gesamten Stadtgebiet deutlich. Genehmigt ist eine maximale Gesamtentnahmemenge von rund 34 Mio. m³ Grundwasser pro Jahr; rund 44 % davon zur Trinkwassergewinnung durch die N-ERGIE AG. Es folgen Großverbraucher aus Industrie (rund 5 Mio. m³) und Landwirtschaft / Gartenbau (rund 2 Mio. m³). Bei Letzteren ist die durch den Wasserverband Knoblauchsland bereitgestellte Wassermenge nicht mitberücksichtigt, da diese aus dem Stadtgebiet Fürth zugeführt wird. Fast drei Viertel der genehmigten oder angezeigten Brunnen sind private Gartenbrunnen, die insgesamt jedoch nur rund 5 % der Gesamtentnahmemenge fördern.

Neue Brunnen für die Sommerberegnung können im Knoblauchsland noch nicht wieder genehmigt werden, da sich die Grundwasservorräte angesichts der früheren Übernutzung – vor der Beileitung durch den Wasserverband Knoblauchsland – noch nicht wieder vollständig erholt haben. Stattdessen hat der Wasserverband mit dem Neubau von drei Förderbrunnen auf Fürther Stadtgebiet und andere technische Maßnahmen auf erforderliche Spitzenförderungen in heißen, trockenen Sommern reagiert.

Die modellhaft erstellte Wasserbilanz für das Stadtgebiet zeigt, dass der Gesamtniederschlag zu rund 57 % verdunstet, zu rund 23 % oberflächlich abfließt und zu rund 20 % versickert. Die Grundwasserneubildung im Stadtgebiet durch Versickerung liegt somit bei rund 24 Mio. m³. Die aktuellen, tatsächlichen Grundwasserentnahmen von ca. 12 Mio. m³/a, belegen rechnerisch eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers. Lokal traten früher Überbeanspruchungen auf. Diesen wird aktuell entgegengewirkt.

Insgesamt existiert damit in quantitativer Hinsicht ein guter Zustand der Grundwasserkörper im Stadtgebiet. Angesichts einer potentiell zurückgehenden Grundwasserneubildung ist dieser gute Zustand kein Automatismus, sondern ist laufend zu überprüfen und geeignet sicherzustellen.

Die Grundwasserstände im Stadtgebiet haben sich seit 2011 nicht wesentlich geändert. Im Zuge der Gesamtaufnahme im Oktober 2016 wurde jedoch ein im Durchschnitt um 50 cm niedrigerer Grundwasserspiegel gegenüber Oktober 2011 festgestellt. Der Unterschied ergibt sich aus einer geringeren Grundwasserspende in Folge deutlich geringerer Niederschläge. Die langjährigen Entwicklungen können lokal unterschiedlich sein. So treten im Stadtgebiet Anstiege des Grundwasserspiegels ebenso auf wie Absenkungen.

Die Lage des Grundwassers unter Flur ist für Bauvorhaben eine wichtige Information. Angesichts der zahlreichen geplanten Bauvorhaben im Stadtgebiet widmet sich ein eigener Beitrag dem Thema „Bauen und Grundwasser“ und stellt die Bereiche mit Grundwasserständen in Oberflächennähe und im Einflussbereich möglicher Kellerbauwerke dar.

Das Grundwassermessprogramm zeigt zusammenfassend die folgenden Entwicklungen bei den Schadstoffgehalten im Grundwasser:

- Bei den LHKW (Lösungsmittel) konnte eine weitere Abnahme hoher ($> 40 \mu\text{g/l}$) und sehr hoher ($> 100 \mu\text{g/l}$) Belastungen festgestellt werden. Es bleiben die Belastungsbereiche in den aktuellen bzw. früheren industriellen Schwerpunktgebieten des Stadtgebietes.
- Die Chlorid-Konzentrationen (Salzfracht) im Grundwasser nehmen im Stadtgebiet weiter zu. Erhöhte Konzentrationen ($> 250 \text{ mg/l}$) werden häufiger festgestellt.
- Hohe ($> 50 \text{ mg/l}$) bis sehr hohe ($> 150 \text{ mg/l}$) Nitratkonzentrationen werden weiterhin in den land- und gartenbaulich geprägten Stadtteilen nachgewiesen. Die Belastungsschwerpunkte liegen im zentralen Knoblauchsland. Es konnte eine leichte Reduzierung sehr hoher Werte nachgewiesen werden.
- Für Pflanzenschutzmittel wurde das Messnetz in relevanten Bereichen verdichtet. Insgesamt konnte ein absoluter und prozentualer Rückgang hoher Belastungen ($> 0,5 \mu\text{g/l}$ im Summenparameter) im Innenstadtbereich festgestellt werden. Neu festgestellt wurden leicht bis deutlich erhöhte Werte im Bereich landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Flächen im nördlichen Stadtgebiet. Dort wurden auch erhebliche Gehalte an Abbauprodukten (Metabolite) nachgewiesen. Glyphosat wurde im Grundwasser nicht gefunden.

Zur Beseitigung der Lösungsmittelbelastungen im Grundwasser werden Beispiele aus über 30 Jahren Altlastenbearbeitung (z.B. chemische Reinigungen, Tankanlagen, Industrie- und Logistikstandorte, Altdeponien) dargestellt. Hier wird deutlich, dass Boden- und Grundwasser ein „langes Gedächtnis“ haben und entsprechende Sanierungsmaß-

nahmen zeitlich sehr aufwändig sein können. Zwischenzeitlich liegen für mehr als 1.150 Flächen im Stadtgebiet Altlastengutachten vor. Deren Ergebnisse sind auch relevant für den wirtschaftlichen Wert der Grundstücke.

Bei der Altlasten- oder Schadensfallbearbeitung geht es nicht mehr allein um Lösungsmittel oder andere lang bekannte, sondern auch um neue Schadstoffgruppen, wie die Per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC). Diese belasten als Altlast das Grundwasser am Nürnberger Flughafen. Auch dort werden umfangreiche und langwierige Sanierungsmaßnahmen geplant und begonnen.

Durch die festgestellten Belastungen durch Nitrat und Pflanzenschutzmittel wird der nach EU-WRRRL angestrebte gute Zustand des Grundwassers in zwei Grundwasserkörpern (im Westen und Norden des Stadtgebietes) nicht erreicht. Diesen Belastungen begegnen Landwirtschaft und Gartenbau mit bedarfsgerechter Düngung und Wirkstoffgabe. Auch diese Maßnahmen führen nur mittel- bis langfristig zum Erfolg. Sollte bis 2027 der angestrebte gute Zustand nicht erreicht sein, sind weitergehende Maßnahmen erforderlich.

Als Spezialthema wird mit vorliegendem Bericht auch die Grundwassertemperatur näher untersucht. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass das oberflächennahe Grundwasser (bis rund 10 m Tiefe) umso wärmer ist, je dichter die Bebauung ist. Keller, Tiefgaragen und andere Tiefbauwerke erzeugen Temperaturerhöhungen von bis zu 7°C . In diesem Zusammenhang kann von „urbanen Wärmeinseln“ gesprochen werden. Höhere Salzfrachten mit höheren Temperaturen führen zu stärkerer Beanspruchung / Alterung von Tiefbauwerken. Höhere Temperaturen könnten aber auch energetisch bzw. thermisch genutzt werden.

Überhaupt hat das Grundwasser ein hohes Potential für eine effiziente thermische Nutzung. Ein geothermisches Potential, das bislang nur teilweise gehoben wurde. Aktuell sind u.a. im Stadtgebiet 240 Erdwärmesondenanlagen mit einer Gesamtleistung von rund 8,6 MW genehmigt. Dabei sind die geologischen Voraussetzungen für oberflächennahe Geothermie im Stadtgebiet durchaus vielversprechend und es gibt auch bereits Beispiele für eine umfassende Nutzung des Grundwassers zur Klimatisierung von Gebäuden.

Für alle genannten Facetten sind gute hydrogeologische Grundlagen wichtig. Neben aktualisierten Grundwasserkarten werden daher mit vorliegendem Bericht aktuelle Untersuchungen zur Quartärgeologie vorgelegt, die u.a. den Verlauf der Urstromtäler der Pegnitz und die Mächtigkeit der lockeren Sedimente über den Festgesteinen des Keupers näher beschreiben.

Mit dem vorliegenden Grundwasserbericht werden der interessierten Öffentlichkeit wieder umfangreiche Informationen und Grundlagendaten präsentiert, die sowohl für den vorsorgenden Grundwasserschutz, als auch für eigene Planungen und Projekte wertvoll sein können.

1. Bedeutung des Grundwassers

1.1. Grundwassernahe Standorte

1.1.1. Vorkommen und Bedeutung

Grundwassernahe Standorte kommen naturgemäß entlang von Bach- und Flussläufen vor. Dort korrespondiert das Grundwasser in aller Regel unmittelbar mit dem Oberflächengewässer. Das Grundwasser fließt unterirdisch in geringer Tiefe dem Oberflächengewässer zu und speist dieses. Bei flachen Hangneigungen der Talhänge können solche nassen Areale sehr breit sein. Oft entsprechen sie auch gleichzeitig den Überschwemmungsgebieten. Bei Überschwemmungen verhält sich das Fließverhalten umgekehrt und das Oberflächengewässer speist das Grundwasser.

Der Bodenaufbau solcher grundwassernahen Standorte ist ganz typisch und ist gekennzeichnet durch Grundwasserschwankungen. Die Böden weisen eine typische, farbliche Horizontierung von oben rot / braun nach unten grau / grün auf (Gley; [1]).

Neben den Standorten entlang von Fließgewässern finden sich grundwassernahe Standorte auch in Niederungen sowie im Umfeld von Stillgewässern. Aus der Flurabstandskarte (vgl. Anlage B) lassen sich solche Bereiche als Flächen mit geringen Flurabständen (0-1 m und 1-3 m) gut herauslesen.

In den Tälern haben die Böden eine wichtige Hochwasserschutzfunktion, denn sie können überwiegend gut Wasser aufnehmen und zwischenspeichern. Mit einem durchschnittlichen Porenvolumen von ca. 40% - 50% [2], das großteils mit Wasser gefüllt werden kann, leisten sie bei Überschwemmungen einen wichtigen Beitrag zur Wasserrückhaltung. Von großer Bedeutung ist es deshalb, die Porosität zu bewahren. Aufgrund der Nässe in geringer Tiefe und der wechselnden Feuchte in den obersten geringmächtigen Horizonten sind grundwasserabhängige Böden besonders verdichtungsempfindlich (z.B. bei Bodenbearbeitung oder Befahrung). Als landwirtschaftliche Nutzung ist wegen der eingeschränkten Befahrbarkeit in der Regel nur eine extensive Wiesenbewirtschaftung möglich. Wald, Dauergrünland und - bei vorhandenen Ackerflächen - eine ökologische, nachhaltige Bewirtschaftung helfen die Infiltrationskapazität zu sichern bzw. zu verbessern ([135]; vgl. Kapitel 5.1.2.).

Die grundwassernahen Böden haben andererseits, aufgrund der geringen Filterstrecke zum Grundwasser, nur eine geringe Filterleistung und Schutzfunktion für Schadstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer. Aus diesen Gründen sieht das Wasserhaushaltsgesetz zum Schutz der Fließgewässer Gewässerrandstreifen vor (WHG § 38 Abs. 1). Zur Erhaltung der Ufer gehört demnach die „Erhaltung und Neuanpflanzung einer standortgerechten Ufervegetation, sowie

die Freihaltung der Ufer“ (WHG § 39 Abs. 1 Nr. 2). Davon abweichend nutzt Bayern seine gesetzgeberischen Möglichkeiten und sieht nur in bestimmten Fällen und erst ab 2021 eine Festsetzung von Gewässerrandstreifen vor (Art. 21 Abs. 2 BayWG).

Weitere gesetzliche Regelungen sollen einer Eutrophierung (Überdüngung) der Gewässer und einer Verschlechterung der Gewässergüte vorbeugen. So sind bei der Anwendung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln Mindestabstände zu Gewässern einzuhalten (PflSchG, DüV) [8]. Der chemische Zustand (insgesamt) erreicht bayernweit noch nicht die Qualitätsstufe „gut“, die gemäß europäischer Wasserrahmenrichtlinie bis 2016 zu erreichen wäre [129]. In Bayern muss zur Verbesserung der ökologischen Qualität an 503 von 961 Oberflächengewässern insbesondere die Landwirtschaft aktiv werden [3]. Dies trifft auch für Nürnberger Gewässer zu (vgl. Kapitel 3.1.5.).

Grundwassernahe Standorte sind zudem empfindlich gegenüber bauliche Einwirkungen. Neben der genannten Verdichtungsempfindlichkeit ist zu beachten, dass Tiefbauten eine Barrierewirkung auf den Grundwasserstrom haben können, was zu einer Veränderung des Fließverhaltens führen kann. Zudem sind aufwändige Maßnahmen zum Schutz dieser Tiefbauwerke als auch zum Grundwasserschutz erforderlich (vgl. Kapitel 5.2.3). Aus diesen Gründen sollten grundwassernahe Standorte von Bebauung möglichst freigehalten werden.

Grundwassernahe Standorte bilden besondere Lebensraumbedingungen für viele seltene Tiere und Pflanzen und sind deshalb von besonderer Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz. Das Vorkommen grundwasser- und ufernaher, naturschutzfachlich wertvoller Standorte im Stadtgebiet von Nürnberg sind lagemäßig im Grundwasserbericht 2011 skizziert [1]. Teilweise sind solche Flächen naturschutzrechtlich geschützt.

1.1.2. Weitreichende anthropogene Überprägung der grundwassernahen Standorte und die Folgen



Abbildung 1: Technische Hochwasserschutzmaßnahme zur Hochwasserfreilegung Ziegelsteins
Von links nach rechts:

- 1) Steuerungsbauwerk für den geregelten Ablauf aus der Retentionsfläche im Vordergrund „Am Anger“ (Hirschsprunggraben);
- 2) Hochwasserschutzmauer (weiß) hinter dem Gartengrundstück und entlang der Straße „Am Anger“
- 3) im Anschluss daran Hochwasserschutzdamm (Quelle: Stadt Nürnberg, Service Öffentlicher Raum (SÖR) / Brückenbau und Wasserwirtschaft)

Da auch in Nürnberg landwirtschaftliche Flächen knapp sind und zum Anbau von Nahrungsmittel Äcker benötigt werden, sind schon lange auch grundwassernahe Standorte durch das Einbringen von Drainagen für die intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung nutzbar gemacht worden.

Vor allem aber sind in der Vergangenheit viele solcher grundwassernahen Standorte trotz der grundsätzlichen Ungeeignetheit überbaut worden. Die Folgen solcher Bebauungen sind nicht nur das Absinken der Grundwasserstände sondern auch ein erhöhtes Hochwasserrisiko. Letzteres hat sich verstärkt durch den einsetzenden Klimawandel und einer veränderten Niederschlagssituation. Daraus ergibt sich u.a. die Notwendigkeit von aufwändigen, nachträglichen Hochwasserschutzmaßnahmen (technische Errichtung von Dämmen, Hochwasserschutzmauern usw.).

Gemäß Vorhaben der Stadtplanung werden weitere solcher grundwasser- und gewässernahen Standorte in naher Zukunft einer Neubebauung zugeführt werden (z.B. Wetzendorf, Gartenfeld). Die Auswirkungen und die Gefährdungssituation muss hier detailliert betrachtet und beachtet werden, um zu verträglichen städtebaulichen Lösungen zu kommen.

1.1.3. Schutz, Renaturierung und Entwicklung von grundwassernahen und Feuchtstandorten



Abbildung 2: Pflanzungen von auwald-typischen Gehölzen (Esche, Erle) in der Gründlachaue
(Quelle: Landschaftspflegeverband Nürnberg)

In Nürnberg sind aufgrund des urbanen Nutzungsdruckes nicht viele naturbelassene grundwassernahe Standorte mit ihren Funktionen und ihren charakteristischen Lebensraumtypen verblieben.

Die Schutzwürdigkeit ist aus den vorgenannten Aspekten evident.

Der Erhalt und die Renaturierung solcher grundwassernahen Standorte ist ein wesentliches Ziel des Naturschutzes und der Landschaftspflege in Nürnberg. Sie bieten die natürlichen Voraussetzungen für die Entwicklung artenreicher, naturschutzfachlich wertvoller Lebensräume. Im Nürnberger Raum finden wir dort vor allem Au- und Erlenbruchwälder, Bäche, Feucht- und Streuwiesen, Hochstaudenfluren und Stillgewässer.

Um die **Neuanlage und Pflege der naturnahen Lebensräume** im Stadtgebiet kümmert sich der Landschaftspflegeverband in Zusammenarbeit mit lokalen Landwirten. Sie mähen die Wiesen und verwerten den Aufwuchs als Pferdeheu oder als Kompost für die Anreicherung des Humusgehaltes ihrer sandigen Ackerböden. Sie pflanzen Au- und Erlenbruchwälder auf Uferrandstreifen entlang der Gewässer. Sie pflegen und renaturieren Fließ- und Stillgewässer, wie z.B. den Nonnenbach bei Neunhof oder den Katzwanger Weiher in der Rednitzau.

Neue Biotope auf grundwassernahen Flächen entstehen auch im Rahmen des **städtischen Ökokontos**. Auch hier

wird der Landschaftspflegeverband Nürnberg mit lokalen Landwirten tätig. Auf sogenannten Grenzertragsstandorten, etwa im Überschwemmungsgebiet an der Gründlach östlich von Neunhof, werden stadteigene Äcker in Feuchtwiesen umgewandelt und Au- bzw. Bruchwälder gepflanzt.

Auch bei der Kompensation der Auswirkungen einer Bebauung in **hochwassergefährdeten Bereichen** können neue wassergeprägte Standorte geschaffen werden. Das heißt, dass z.B. bei der Errichtung von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen unter Berücksichtigung ökologischer Ziele auch positive Effekte für den Naturhaushalt erzielt werden können. Im besten Fall gehen diese Maßnahmen mit einer Renaturierung von Teilabschnitten von Fluss- / Bachläufen und mit der Neuentstehung von Feuchtflecken einher (Abbildung 3).

Bei der Errichtung von **Versickerungsflächen und Regenrückhalteräumen** zur Minimierung der negativen Folgen von Versiegelungen bei Neubaugebieten (vgl. Kap 5.3.3.) entstehen ebenfalls Potentiale für eine Entwicklung naturnaher Flächen mit Biotopfunktionen. Um diese auszuschöpfen, bedarf es jeweils zahlreicher Abstimmungsgespräche aufgrund unterschiedlicher Zuständigkeiten (Stadtentwässerung, Naturschutz, Hochwasserschutz, Gewässerunterhalt, Stadtplanung).

Grundsätzliche Lösungsansätze wären hierbei anzustreben.

Ein besonders vorzeigbares Projekt ist die Kooperation zwischen der Flughafen Nürnberg GmbH und dem Landschaftspflegeverband Nürnberg bei der Pflege der naturnah gestalteten Regenrückhaltebecken am Bucher Landgraben vor den Toren des Albrecht Dürer Airport Nürnberg. Durch die aufwändige und differenzierte Pflege der künstlich geschaffenen Stillgewässer haben sich dort sehr viele und seltene Arten angesiedelt, wie z.B. das Blaukehlchen. Ein weiteres positives Beispiel ist das, durch die Stadtentwässerung Nürnberg zur Bewirtschaftung des Niederschlagswassers aus den südlichen Baugebieten, neu hergestellte Regenrückhaltebecken in Langwasser.

Im **Gründlachtal** finden sich wassergeprägte Auen mit ihren großflächigen Feuchtgebieten und grundwassernahen Standorten, die ökologisch wertvoll sind und eine sehr große Bedeutung für Biodiversität und Hochwasserschutz (Retentionsraum) haben. Das Gründlachtal ist zudem Teil einer bedeutsamen, historisch gewachsenen und wertvollen Natur- und Kulturlandschaft im nördlichen Knoblauchsland. Im Zusammenhang mit dem „Masterplan Freiraum“ [[4]; [5]] wird derzeit, unter Federführung des Umweltamtes, ein integratives Entwicklungskonzept für eine „Multifunktionale Auenlandschaft Gründlachtal“ erarbeitet.



Abbildung 3: Maßnahmen zur Hochwasserfreilegung Ziegelstein, hier: aufgeweiteter und renaturierter Bereich des ehemaligen Rübenweiher (Teilstück des Hirschsprunggrabens) mit Uferbefestigung als Sitzgruppe (Quelle: Stadt Nürnberg, Service Öffentlicher Raum / Brückenbau und Wasserwirtschaft)



Abbildung 4: Renaturierter Abschnitt des Bucher Landgrabens südlich des Flughafens (Quelle: Landschaftspflegeverband Nürnberg)

1. Bedeutung des Grundwassers

Neben der naturschutzfachlichen Hauptkomponente mit den Aspekten Biotopentwicklung, Artenschutz und Hochwasserschutz, zielt das Konzept auf die Entwicklung und Gestaltung einer multifunktionalen und erlebbaren Auenlandschaft mit einer extensiven Erholungsnutzung (verträgliche Naturerfahrung, Landschaftserlebnis) und gleichzeitig auf die Sicherung der gewachsenen landwirtschaftlich geprägten Natur- und Kulturlandschaft ab. Vielfältige, konkrete und umsetzungsfähige Maßnahmen sollen konzeptionell erarbeitet werden, um das Gründlachtal entsprechend multifunktional nutzbar, d.h. gleichzeitig auch erlebbar, zu gestalten sowie Synergien zu fördern.

Das Konzept soll Ziele für die künftige Landschaftsentwicklung im nördlichsten Stadtgebiet aufzeigen, Grundlage für weitere Fachplanungen (z.B. städtisches Ökokonto, gesamtstädtisches Artenschutzkonzept) sein und den „Masterplan Freiraum“ hinsichtlich einer nachhaltigen Freiraumentwicklung im Stadtgebiet fortschreiben und umsetzen.

Zusammenhängende grundwasser- und gewässernahe Standorte findet man zudem im **Rednitztal** im Süden Nürnbergs. Es ist dort auf einer Länge von ca. 10 km zwischen der Autobahn A6 und Stein als europäisches Flora-Fauna-Habitat geschützt. In weiten Bereichen mäandriert die Rednitz hier noch natürlich und wird von gewässerbegleitenden Gehölzsaumen und einzelnen gut ausgeprägten Auwäldern umgeben.

Von hohem ökologischem Wert sind verschiedene Stillgewässer, die in der Aue eingebettet sind und Lebensraum für zahlreiche Libellen und Amphibien bieten, wie z.B. der stark gefährdeten Knoblauchkröte.

In den landwirtschaftlich geprägten Anteilen der Aue überwiegt die Grünlandnutzung. Hier finden sich stark wechselseuchte Standorte. Während im Winter nasse oder temporär überschwemmte Böden den Talgrund kennzeichnen, entwickeln sich genau diese Flächen im Sommer zu trockenen Sand- und Wiesenlebensräumen. Grund dafür sind die relative Niederschlagsarmut im Mittelfränkischen Becken und die sandigen Ablagerungen der Flussaue, die in den oberen Horizonten rasch austrocknen. Deshalb hat sich hier bereits seit dem Mittelalter die historische Form der Wiesenbewässerung entwickelt, die zwischen Schwabach und Reichelsdorf bis heute noch erhalten geblieben und auch von hohem kulturhistorischem Wert ist. Diese traditionelle Kulturtechnik trägt zudem zur Grundwasserneubildung in diesem Bereich bei. Das weit verzweigte Netz an Wässergräben stellt wichtige Biotopverbundachsen dar und trägt maßgeblich zur Biodiversität in der Aue bei.

So sind die Gräben unter anderem ein wichtiges Fortpflanzungshabitat der bayernweit stark gefährdeten Gebänder-Heidelibelle. Die gewässerten Wiesen sind Nahrungsgrundlage der Nürnberger Storchpaare in Katzwang und Reichelsdorf.

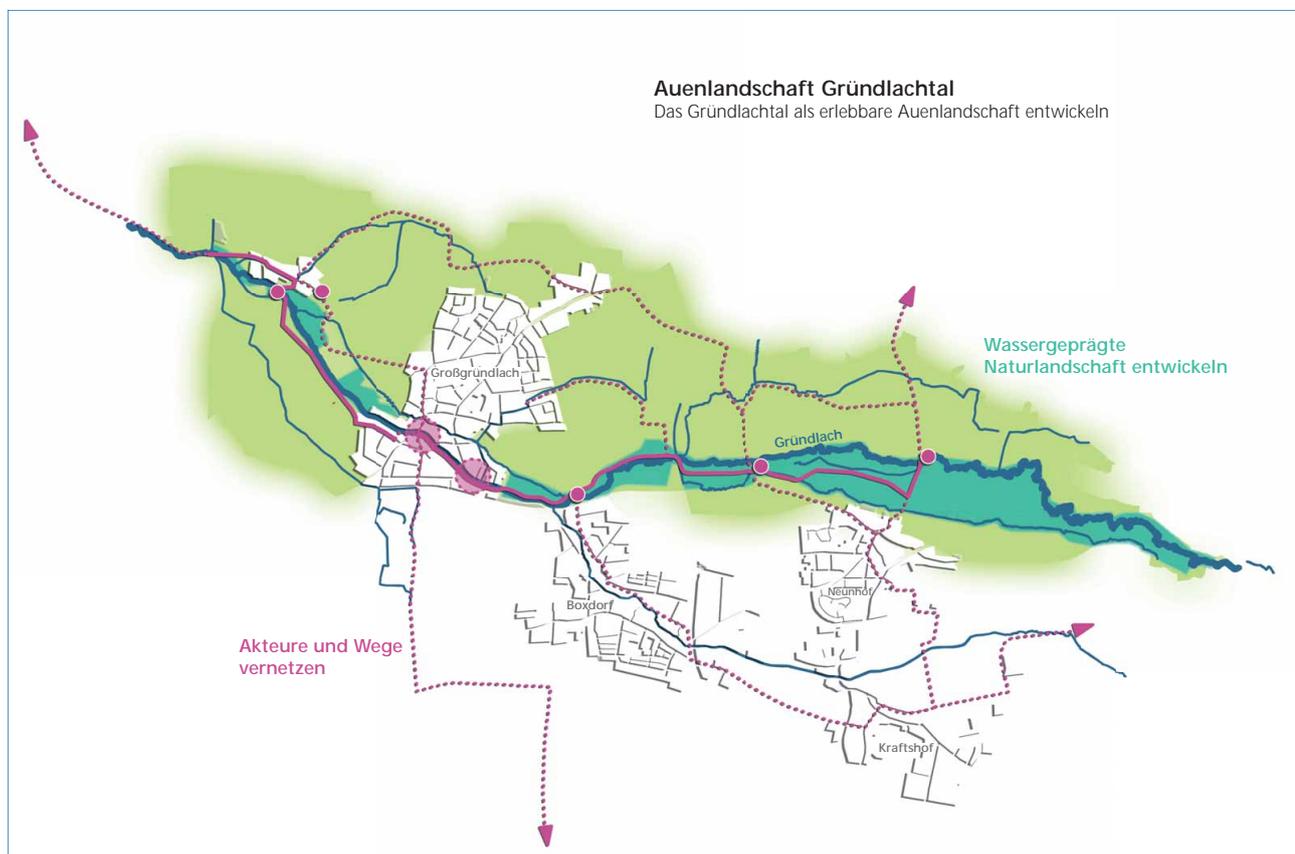


Abbildung 5: Leitbild Auenlandschaft Gründlachtal aus dem vertiefenden „Baustein Wasser zum städtischen Freiraumkonzept Nürnberg“, (Quelle: bmgr Landschaftsarchitekten [[5]; [136]])

Im Rahmen des Projektes des Umweltamtes der Stadt Nürnberg zur nachhaltigen Entwicklung der Kulturlandschaft im Rednitztal werden durch Flächenerwerb, Pflege- und Renaturierungsmaßnahmen Biotopflächen weiterentwickelt und der Erhalt der traditionellen Wiesenbewässerung unterstützt.

Ein Bewohner gewässer- und grundwassernaher Lebensräume ist der, nach europäischem Recht (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie) und nach dem Bundesnaturschutzgesetz besonders und streng geschützte Biber (*Castor fiber*). Er wurde im 19. Jahrhundert in fast ganz Europa ausgerottet [7]. Heute leben wieder ca. 20.000 Tiere in fast allen Teilen Bayerns. Auch im Stadtgebiet Nürnberg sind praktisch alle Reviere in den Gewässern I. Ordnung, d.h. Pegnitz und Rednitz, besetzt. Zunehmend versuchen die Tiere sich auch in Gewässern II. Ordnung des Stadtgebietes Nürnberg, z.B. der Gründlach, anzusiedeln. Dies führt zu häufigeren Konflikten. Die Untere Naturschutzbehörde mit ihren Biberberatern, sowie dem Bibermanager für Nordbayern sind hierbei Ansprechpartner zur Konfliktlösung (vgl. dazu: <https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/biber.html>).

Der Biber braucht eine Wassertiefe von ca. 80 cm, um unter Wasser in seinen Bau zu gelangen. Daher versucht er durch Dammbauten das Gewässer bis zur gewünschten Tiefe aufzustauen. Die Biber besitzen dabei enorme Gestaltungskraft und sind als Naturschützer unschlagbar. Als Wasserbauer mit Jahrmillionen langer Tradition wissen sie genau, wo ein Damm maximale Wirkung entfaltet. Vom Biber verbissene Gehölze treiben überwiegend wieder aus, oft sogar dichter als vor dem Verbiss. Wo Biber die Landschaft gestalten dürfen, bereiten Sie einen Lebensraum für viele seltene Tierarten wie zum Beispiel die Wasserralle, den Eisvogel, die Bekassine und viele mehr. Auch Libellen sind Biberfans. Der Biber erhält somit die Vielfalt der heimischen Tier- und Pflanzenwelt (Biodiversität) [[6]; [158]].

Zudem läuft in von Bibern gestalteten Lebensräumen bei Starkregen das Wasser langsamer ab. Sie leisten damit einen Beitrag zur Kappung von Hochwasserspitzen. In Trockenzeiten kommt das Wasser, das durch Biberdämme aufgestaut wurde, auch den angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen zugute [7].

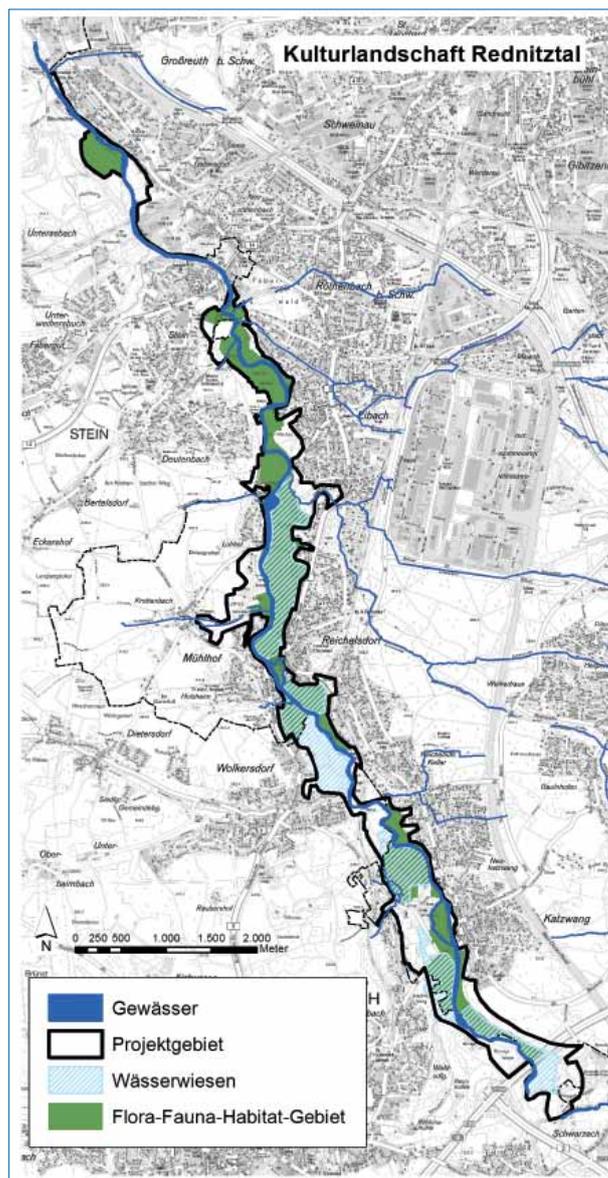


Abbildung 6: Projektgebiet „Nachhaltige Entwicklung der Kulturlandschaft Rednitztal“ (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Abbildung 7: Weißstorch in den Wässerswiesen des Rednitztals von Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Abbildung 8: Biber an der Pegnitz (Quelle: Bibermanager Horst Schwemmer)

1.2. Integriertes Stadtentwicklungskonzept – Gemeinschaftsaufgabe „Nürnberg am Wasser“

Wasser ist Lebensgrundlage. Es prägt die Identität und Eigenart der Stadt sowie ihrer Natur- und Kulturlandschaft. Insbesondere in einer kompakten Stadt wie Nürnberg kommt dem Landschaftselement Wasser eine vielschichtige Bedeutung zu.

Mit einem Integrierten Stadtentwicklungskonzept (INSEK) wurde 2012 eine gesamtstädtische Perspektive und Strategie auf den Weg gebracht, um das Thema Wasser in der Stadtentwicklung nachhaltig einzubinden.

Wasser ist ein facettenreiches und vielfältiges Thema. Klimatische und geologische Gegebenheiten bestimmen die Ausstattung mit Grundwasser und Fließgewässern. Die Vielfalt des Themas sowie die Einbindung in die Raumstruktur der Stadt und der Region spiegeln sich in der Vielzahl von Zuständigkeiten und öffentlicher sowie privater Interessen wider. Wasser ist vor diesem Hintergrund nicht als sektorale oder institutionelle Aufgabe zu verstehen, die an den Grenzen eines Stadtgebietes beginnt oder an die besondere Trägerschaft einer bestimmten Institution gebunden ist. Das Wasser ist im Sinne überlieferter Verantwortungen und zukünftiger Herausforderungen eine Gemeinschaftsaufgabe der Stadtgesellschaft. Ziel ist eine ganzheitliche Sichtweise im Umgang mit den unterschiedlichen Themenfeldern.

Das INSEK „Nürnberg am Wasser“ bezieht sich auf den Raum der Gesamtstadt und berücksichtigt zugleich die Einbindung des Gewässernetzes in die Kulturlandschaft der Region. Themen waren u.a. die Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer, die Erhöhung des Versickerungsanteils von Niederschlagswasser oder die Schließung von Wasserkreisläufen. Es wurden Konzeptbausteine als tragende Säulen für die Gemeinschaftsaufgabe „Nürnberg am Wasser“ und zur Verdeutlichung der wesentlichen Handlungsansätze strategische Projekte formuliert, die auf das zukünftige Handeln wirken sollen (vgl. Abbildung 9). Seither werden diese schrittweise umgesetzt und insgesamt konnte die Wahrnehmung für das Potential des Wassers in der Stadt gestärkt werden und laufende Projekte umgesetzt werden.

Konzeptbausteine des INSEKs Nürnberg am Wasser und Umsetzungsstand Ende 2015, sofern nicht anders vermerkt.



Landschaftselement Wasser		
Bach- und Grabensysteme profilieren – Biotop angepasster Spielplatz am Gaulnhofener Graben		Eröffnung des Spielplatzes erfolgte 2013, außerdem wurde unter anderem der Langwassergraben aufgewertet und umgestaltet.
Süduferpark Pegnitztal West		Langfristige Realisierung, unter anderem liegt seit 2011 eine Voruntersuchung vor.
Ludwig-Donau-Main-Kanal		Überregionaler Grünzug im Regionalplan, diverse Maßnahmen sind geplant.
Wasserwelt Wöhrder See (Oberer Wöhrder See)		Realisierung geschieht zeitlich nach dem Unteren Wöhrder See.
Erhalt der Wasserwiesen – Schutz und Pflege der Kulturlandschaft im Rednitztal		Unter anderem erfolgen Gewässerrenaturierung, Flächenerwerb und vertragliche Regelung.
Stadtraumqualität Wasser		
Kleine Wasserläufe erneuern		Diverse Renaturierungen in Umsetzung, zum Beispiel Entengraben, Brunnelgraben.
Orte am Wasser in der Altstadt		Südlicher Uferbereich Insel Schütt wurde 2016 fertiggestellt.
Vision Wasser Tiefes Feld		Bauleitplanung läuft.
Wasserwelt Wöhrder See (Unterer Wöhrder See)		Fußgängersteg und Sandstrand sind realisiert, Umgestaltung Norisbucht hat begonnen.
Hafengelände – Personenschiffahrtshafen Nürnberg		Wird 2017 in Betrieb genommen.
Lebensgrundlage Wasser		
Zabo Quelle		Konnte nicht realisiert werden.
Wasser für das Stadtklima		Aktuell keine neuen Trinkwasserbrunnen.
Zukunftsfähige Entwässerungskonzepte		Entwässerungskonzepte in Bebauungsplänen, Beschluss 2013.
Sensibilisierung und Beteiligung		
www.nuernberg-am-wasser.de		Seiten sind online.
Sightseeing „Nürnberg am Wasser erleben“		Projekt der Congress- und Tourismuszentrale Nürnberg.
Umweltstation Wöhrder See		Realisierung im Bereich der Norisbucht vorgesehen.
Erlebnispotenzial Wasser		
Gemeingebrauch von Gewässern ermöglichen		Realisiert ist zum Beispiel Bootfahren ab Lederersteg. Erkundung der Badewasserqualität läuft.
Runder Tisch Gewässernutzung		Existiert bisher nur für Teilbereiche (zum Beispiel Runder Tisch Dutzendteich).
Wassersportachse Main-Donau-Kanal		Projektziel muss überprüft werden.
BIG Jump / Nürnberger Badetag 2016		Durchführung ist verschoben.

Abbildung 9: Themenfelder und Konzeptbausteine des INSEK „Nürnberg am Wasser“ (Quelle: Stadt Nürnberg, Bürgermeisteramt [149])

So hieß es z.B. „Nürnberg ist näher am Wasser“ als im September 2016 das umgestaltete Südufer der Insel Schütt eröffnet werden konnte (vgl. Abbildung 10). Wasser hat eine besondere Anziehungskraft für die Menschen und es gilt daher auch, unmittelbare Wassererlebnisse möglich zu machen. Weitere Projekte folgen und erhöhen die Aufenthaltsqualität am Wasser im öffentlichen Raum (Wasserwelt Wöhrder See, Kontumazgarten, Nägeleinsplatz).

Weiter hat das strategische Projekt „Zukunftsfähige Entwässerungskonzepte“ dazu beigetragen, dass Entwässerungskonzepte für Bebauungspläne erstellt werden, die sich unmittelbar auf die Lebensgrundlage, das Grundwasser als wertvolle Wasserreserve, auswirken.

Ein konkretes Projekt ist z.B. die „Vision Wasser Tiefes Feld“, ein Entwässerungskonzept mit einem Natursee im Bebauungsplangebiet Tiefes Feld (vgl. Abbildung 11).

Den Folgen des Klimawandels lokal begegnen bedeutet auch, dass einer weiteren Versiegelung bzw. dem hohen Versiegelungsgrad im Stadtgebiet begegnet wird.

Die gesamtstädtische Perspektive bleibt eine große Herausforderung. Als Bestandteil der integrierten Stadtentwicklung, die in einem gesamtstädtischen Forum fortgeführt wird, werden Projekte für Nürnberg am Wasser weiter umgesetzt und in den gesamtstädtischen Entwicklungsprozess laufend einbezogen.

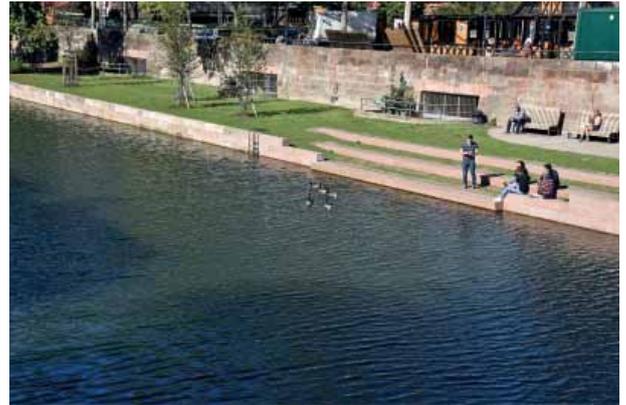


Abbildung 10: Umgestaltetes Südufer der Insel Schütt (Quelle: Stadt Nürnberg, Presse- und Informationsamt)



Abbildung 11: Geplante naturnahe Ableitung von Niederschlagswässern aus den geplanten Neubaugebieten im Tiefen Feld - Ableitungs- und Retentionsschema (Quelle: Ramboll Studio Dreiseitl 2016 [150])

1.3. Bedeutung des Wasserhaushaltes im Klimawandel

1.3.1. Klimawandel - Klimaveränderungen im Stadtgebiet Nürnberg und ihre Folgen für den Wasserhaushalt

Der Klimawandel ist kein Phänomen der Zukunft, sondern er ist bereits Teil unserer Gegenwart [151]. Weltweit wurde ein Temperaturanstieg von 0,85 °C zwischen 1880 und 2012 nachgewiesen [132]. Seit etwa 1950 wurden zudem Veränderungen bei extremen Wetter- und Klimaereignissen beobachtet. Dazu zählen die Zunahme von heißen und der Rückgang von kalten Temperaturextremen ebenso wie die zunehmende Häufigkeit extremer Niederschlagsereignisse sowie ein Anstieg der Meeresspiegelstände. Für urbane Gebiete werden aufgrund des Klimawandels erhöhte Risiken für Menschen, Vermögenswerte, Ökonomien und Ökosysteme projiziert.

Auch in der Stadt Nürnberg werden zunehmend klimatische Veränderungen beobachtet. Sie haben Auswirkungen u.a. auf die menschliche Gesundheit und auf den Wasserhaushalt. Neben dem Klimaschutz ist deshalb die Erarbeitung von Maßnahmen zur Klimaanpassung besonders relevant. Für die wasserbezogenen Bereiche geht es im Stadtgebiet Nürnberg vor allem um den Überflutungs- und Hochwasserschutz und um eine ausreichende Versorgung mit Trink- und Brauchwasser. Wasser spielt zudem für das Stadtklima eine große Rolle um thermische Belastungssituationen zu reduzieren (Kühlung durch Verdunstung). Neben dem Grundwasser erhält der Umgang mit dem wertvollen Gut Regenwasser in der Stadt im Zuge des Klimawandels eine besondere Bedeutung.

Temperaturen und bioklimatische Ist-Situation in Nürnberg

Stadtklima

In dicht bebauten und versiegelten Stadtgebieten bildet sich aufgrund von eingeschränktem Luftaustausch, der Wärmespeicherung der Bausubstanz, den Strahlungseigenschaften der Oberflächen und der anthropogenen Wärmefreisetzung durch Hausbrand, Verkehr und Industrie gegenüber dem Umland ein deutlich abweichendes Stadtklima aus. Im Durchschnitt liegt die Lufttemperatur in einer Großstadt gegenüber dem unbebauten Umland um etwa 2 K höher und kann in Extremfällen um bis zu 10 K höher sein. Im Sommer bilden sich während sonnenscheinreicher, windarmer Wetterlagen gesundheitlich besonders belastende „städtische Wärmeinseln“ aus. Betroffen sind davon vor allem sensible Bevölkerungsgruppen wie ältere Menschen, Kranke und Kleinkinder.

Das langjährige Jahresmittel der Lufttemperatur ist in Nürnberg von 1956 bis 2016 kontinuierlich von etwa 8 °C auf fast 10 °C gestiegen (Abbildung 12). Die Zahl der Sommertage (Temperaturen über 25 °C) ist in den letzten 60 Jahren von 34 auf 50 angestiegen. 2003 wurde mit 85 Tagen der bisher höchste Wert ermittelt. 2015 war das Jahr, in dem die bisher höchste Zahl an Hitzetagen mit Temperaturen weit über 30 °C gemessen wurde. Auch hier ist eine deutlich steigende Tendenz erkennbar (von 5 auf 12-14 Tage).

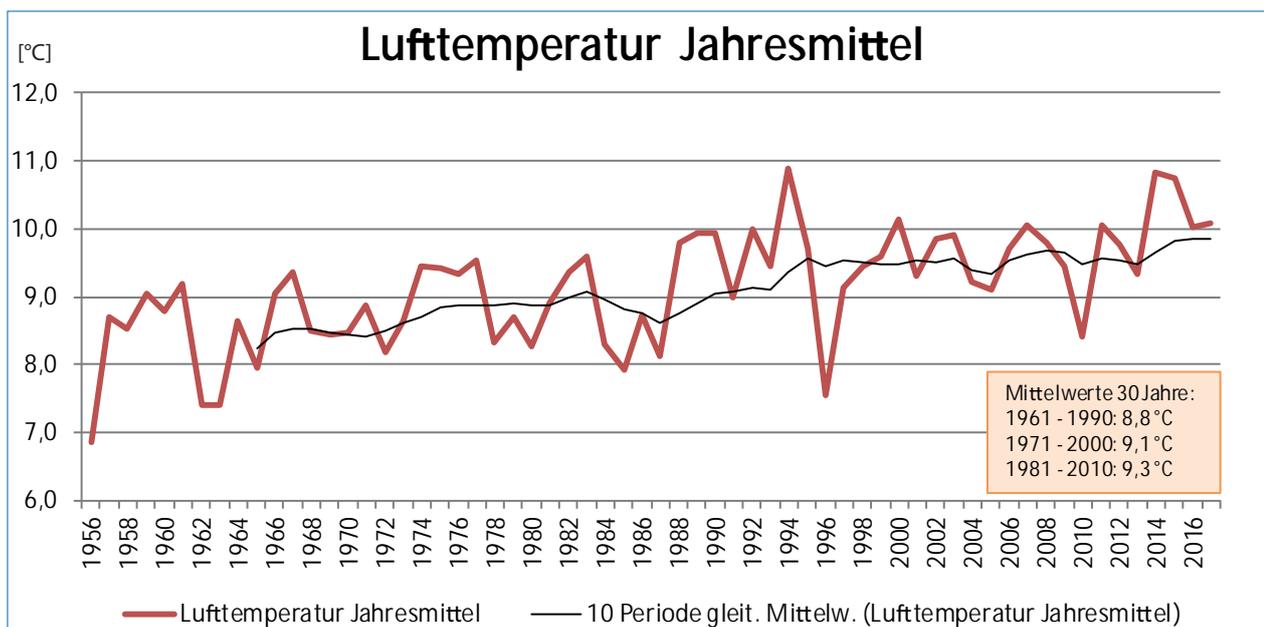


Abbildung 12: Temperaturverlauf, gemessen an der Flugwetterwarte Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt; Datengrundlage: Daten der Messstation Flugwetterwarte Nürnberg des Deutschen Wetterdienst, DWD)

Bioklimatische Situation

Das Bioklima beschreibt die Einflüsse von Wetter und Klima auf den Menschen. Bedeutsam sind dafür vor allem die Klimaparameter Strahlungstemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeiten. Eine ungünstige bioklimatische Situation hat auch einen Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden. In Nürnberg sind 16 % der Siedlungsfläche als bioklimatisch ungünstig und 29% als weniger günstig eingestuft worden. Die höchsten Nachttemperaturen (4 Uhr morgens, 2 m über Grund) treten mit bis zu 22,4 °C in der stark versiegelten und verdichteten Nürnberger Altstadt und in einzelnen Gewerbegebieten auf. Die unbebauten, vegetationsgeprägten Freiflächen v.a. im Osten und Südwesten des Stadtgebietes weisen weniger als 15 °C in vergleichbaren Sommernächten auf [11].

Voraussichtliche Entwicklung der Temperaturen und Auswirkungen

Für zwei Projektgebiete, Alt- und Weststadt, wurde in 2012 die zu erwartende Temperatur- und Niederschlagsentwicklung ermittelt [12].

Die Simulationen auf der Grundlage des Klimamodells WETTREG gehen für das Modellgebiet Nürnberg bis zur Dekade 2040 - 2050 von einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur um ca. 1,44 K auf 10,64 K aus. Der Juni und Juli sowie der Dezember werden sich deutlich stärker erwärmen, als die restlichen Monate [12]. Klimaprognosen sind dabei als „Vorhersage“ zu verstehen und dürfen nicht als eine Errechnung einer Eintrittswahrscheinlichkeit verstanden werden.

Die gesundheitlich belastenden Kenntage, Sommertage (> 25 °C), Hitzetage (> 30 °C) und Tropennächte (> 20 °C nachts) werden im Innenstadtbereich zukünftig deutlich zunehmen (Tabelle 1).

Für den menschlichen Organismus sind vor allem Hitzewellen belastend. Als Hitzewelle wird im Stadtklimagutachten [11] eine Periode von mindestens fünf Tagen mit Temperaturen um 30 °C definiert. Die Auswertung und Modellierung vorliegender Daten [11 a] zeigt einen deutlichen Anstieg der Hitzewellen von 0,3 im Jahr 2010 auf 4,3 im Jahr 2083. Danach wird wieder ein leichtes Absinken prognostiziert.

Der Klimawandel lässt somit in Zukunft eine deutlich verstärkte und häufigere gesundheitliche Belastungssituation im Stadtgebiet erwarten.

Niederschlagswasser in Nürnberg – Bedeutung und bisherige Entwicklungen

Neben den thermischen Veränderungen werden in Nürnberg auch die niederschlagsbedingten Veränderungen zunehmen. Nürnberg hat diesbezüglich eine ungünstige Ausgangssituation, liegt es doch in einer niederschlagsarmen Gegend, einer der trockensten Gebiete Bayerns. Diese naturräumliche Situation bedingt verhältnismäßig geringe Neubildungsraten der Grundwasservorräte. Zudem verfügt die Region über nur mäßige Wasserspeicherkapazitäten des Untergrundes. Die Niederschlagsarmut beeinflusst außerdem die Oberflächengewässer und führt zu häufigeren Niedrigwasserpegeln.

Der relativen Wasserarmut steht ein hoher Wasserbedarf für Nürnberg gegenüber. Die hohe Bevölkerungs- und Industriedichte sowie das intensiv landwirtschaftlich genutzte Gemüseanbaugelände Knoblauchsland bedürfen einer ausreichenden Versorgung mit Trink- und Brauch- sowie Regenwasser. Es müssen deshalb große Wassermengen über weite Strecken nach Nürnberg transportiert werden.

2040 - 2050	REM= A1B	REMO B1	WETTREG
Anzahl der Sommertage / Jahr (heute: 49,3)	69,3	45,5	70,3
Anzahl der Hitzetage / Jahr (heute 11,8)	22,6	12,0	22,7
Anzahl der Tropennächte / Jahr (heute 0,3)	9,6	4,9	7,2
2090 -2100	REM= A1B	REMO B1	WETTREG
Anzahl der Sommertage / Jahr (heute: 49,3)	98,8	78,5	99,5
Anzahl der Hitzetage / Jahr (heute 11,8)	44,9	29,1	46,5
Anzahl der Tropennächte / Jahr (heute 0,3)	33,0	17,5	17,5

Tabelle 1: Simulierte jährliche Anzahl der Kennwerte nach verschiedenen Klimaprojektionen unter Berücksichtigung der ExWoSt-Klimamessungen (Werte gerundet); Ergebnis der Untersuchungen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt Nürnberg (Altstadt und Weststadt) unter Berücksichtigung der regionalen Klimamodelle WETTREG und REM (Quelle: VETTER, M. & WEINBERGER, S. 2012 [12])

1. Bedeutung des Grundwassers

Seit mehr als hundert Jahren wird Trinkwasser aus dem oberen Pegnitztal (Ranna) und ab Mitte der 70er Jahre zusätzlich aus dem Lechtal nach Nürnberg geleitet: ca. 2/3 des Nürnberger Trinkwasserbedarfs wird aus diesen weit entfernten Quellen und Grundwasservorkommen gedeckt [1].

Seit den 90er Jahren wird außerdem Wasser aus dem Donaugebiet über den Main-Donau-Kanal und über das Bayerische Seenland in das Gewässersystem der Rednitz und Regnitz übergeleitet (im Mittel 125 Mio. m³ / Jahr) [13]. Dadurch wird eine Anhebung der Niedrigwasserführung von Rednitz, Regnitz und Main in sommerlichen und herbstlichen Trockenperioden und eine Verbesserung und Stabilisierung der Wasserqualität dieser Flüsse erreicht [14]. Von wirtschaftlicher Bedeutung ist dabei vor allem die Nutzung als Kühlwasser für die Energiewirtschaft und die indirekte Nutzung dieses Wassers durch die Gewinnung von Uferfiltrat zur Deckung des Bewässerungswasserbedarfs im Knoblauchsland (Wasserbeileitungsprojekt seit 2004 vgl. Kapitel 1.5.).

In den extremen Trockenjahren 2003 und 2015 musste jedoch die Überleitung von Donauwasser in das Seeland gestoppt werden. Denn auch dort waren die Pegel stark gesunken. In diesem Fall kann noch 3 Wochen lang die Speisung vom Rothsee aus erfolgen.

Im Sommer 2015 machte das übergeleitete Wasser rund 80 bis 90 Prozent des Abflusses der Rednitz südlich von Nürnberg aus [[15]; [16]]. „Ohne das Wasser aus Donau sowie dem Roth- und Brombachsee wären Pegnitz und Regnitz jetzt nur erbärmliche Rinnsale. Das wenige Wasser würde sich stark aufheizen. Und wegen des geringen Sauerstoffgehalts wäre ein großes Fischsterben die Folge.“ (K. WINKELMAIR, Wasserwirtschaftsamt Nürnberg, am 10.08.2015 [17]).

Der jüngste Negativrekord liegt mit dem extrem trockenen Winter 2016 / 2017 vor. Niederschlagswasser fehlte bereits im Frühjahr dem Bodenwasserspeicher, und damit den Anbaukulturen. Viele Landwirte fürchteten um ihre Ernte. Zudem sanken Grundwasservorräte, die sich im Winter hätten auffüllen müssen.

Ein Presseartikel vom 10.04.2017 war überschrieben mit: „Der Wasservorrat ist fast aufgebraucht – Trockene Winter machen dem Ökosystem in Franken zu schaffen“ [18].

Die genannten extremen Trockenjahre wie auch das Hochwasserjahr 2013, wovon besonders der Donauraum betroffen war, zeigen exemplarisch, dass Klimaveränderungen Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft, den Naturhaushalt und auf weitere Sektoren unseres gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Umfelds haben werden.

Die Entwicklungen des Niederschlags in Nürnberg

Im Flusseinzugsgebiet der Regnitz ist von 1931 bis 2015 eine Zunahme bei den winterlichen Niederschlägen um + 19,2 % zu verzeichnen [[19]; [20]]. Dieser Trend kann zumindest an Nürnbergs südöstlichen Rand, im Bereich des Tiergartens, durch die Auswertung einer ehemaligen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes bestätigt werden (von 1956 bis 2005: Zunahme der winterlichen Niederschläge um + 16%).

Die Niederschläge an der Flugwetterwarte im Norden Nürnbergs dagegen entwickelten sich entgegen diesem Trend. In den hydrologischen Winterhalbjahren ist seit 1956 ein leicht negativer Trend zu beobachten (vgl. Kapitel 2.4.2.).

Die sommerlichen Niederschläge zeigen über langjährige Zeiträume betrachtet insgesamt einen weniger ausgeprägten Trend. Weitere Daten und Auswertungen zum Niederschlagsverlauf und zur räumlichen Niederschlagsverteilung sind im Kapitel 2.4. dargelegt.

Starkniederschlagsereignisse

Die Entwicklung von Starkniederschlagsereignissen ist von besonderem Interesse, weil damit - verstärkt durch die Versiegelung in Städten - eine Überflutungs- und Hochwassergefahr verbunden ist. Zudem gehen diese Niederschläge aufgrund des, in diesen Fällen vorwiegenden, Oberflächenabflusses dem Bodenwasserspeicher und der Grundwasserneubildung verloren.

30-jähriges Mittel des Jahresniederschlags im hydrologischen Jahr an der Flugwetterwarte Nürnberg

Zeitraum	1956 -1985	1966-1995	1976-2005	1986-2015	1987-2016
Niederschlag [mm]	634	647	633	620	616

Tabelle 2: Langjährige mittlere Jahresniederschläge an der Flugwetterwarte Nürnberg in verschiedenen Zeiträumen (Auswertung: Stadt Nürnberg, Umweltamt; Datengrundlage: Werte des Deutschen Wetterdienstes, DWD)

Bisherige Entwicklungen bei den Niederschlagsmengen in Nürnberg (Flugwetterwarte)

Trends verschieden langer Zeiträume	1956-2016 (61 Jahre)	1981-2016 (36 Jahre)	1991-2016 (26 Jahre)
Hydrogeologisches Jahr	- 2,8 %	- 12,4 %	+ 2,3 %
Hydrogeologisches Winterhalbjahr	- 7,8 %	- 20,5 %	- 4,4 %
Hydrogeologisches Sommerhalbjahr	- 0,3 %	- 6,8 %	+ 7,4

Tabelle 3: Entwicklung der Niederschlagsmengen seit 1956 an der Flugwetterwarte (Auswertung des linearen Trends; Stadt Nürnberg, Umweltamt; Datengrundlage: Werte des Deutschen Wetterdienstes, DWD)

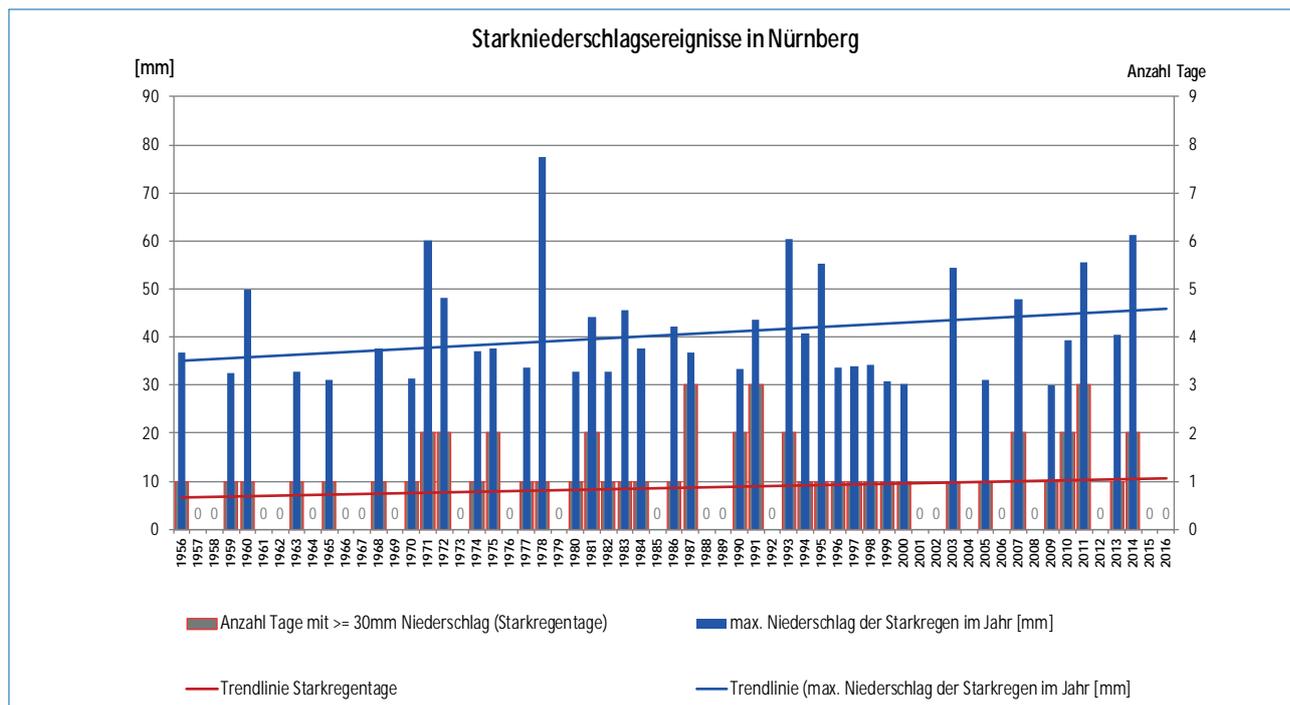


Abbildung 13: Entwicklung der Anzahl und max. Höhe von Starkniederschlägen (≥ 30 mm/Tag) (Auswertung: Stadt Nürnberg, Umweltamt; Datengrundlage: Werte des Deutschen Wetterdienstes, DWD)

Bodenerosion, verbunden mit dem Verlust wertvollen humosen Oberbodens, ist eine weitere negative Folge. Bei einer Auswertung der Niederschlagsdaten der Flugwetterwarte der letzten 60 Jahre ist ein Trend zu häufigeren Starkniederschlagsereignissen (hier: ≥ 30 mm/Tag) und eine leichte Zunahme bei der Niederschlagshöhe bei solchen Ereignissen feststellbar (vgl. Abbildung 13).

Unterjährliche Niederschlagsverteilung

Für die Vegetation, die Landwirtschaft und den Bewässerungsbedarf von Anbaukulturen sowie von städtischem Grün ist die Verteilung der Niederschläge von Bedeutung. Die größten Regenmengen sind in der Vergangenheit im Juni / Juli gefallen. Eine Phasenverschiebung, hier ein späteres Eintreten des jährlichen Maximums des Niederschlags, wurde durch KLIWA im Norden Bayerns festgestellt (im Nordosten Bayerns seit 1930 eine Verschiebung um mehrere Monate) [21]. An der Flugwetterwarte in Nürnberg sind Verschiebungen des sommerlichen Monatsmaximums in Richtung Juli / August erkennbar.

Weitere Veränderungen mit Folgen für den Wasserhaushalt

Bayernweit wurde eine Verlängerung der Vegetationsperiode um insgesamt 26 Tage festgestellt [[22]; [23]]. Die Folge für den Wasserhaushalt ist ein erhöhter Wasserbedarf der Vegetation und die Verlängerung der Wasserzehrzeit, verbunden mit der Verkürzung der Zeit der Grundwasserneubildung.

Weitere Daten

Zu den Nürnberger Wasserhaushaltsgrößen - Verdunstung und Abfluss - wird auf die Hintergrundinformationen im Grundwasserbericht 2011 [1] und auf die aktuelle Wasserhaushaltsbilanz für Nürnberg im Kapitel 2.4.2. hingewiesen. Weitere relevante Daten finden sich auf den Internet-Seiten des Deutschen Wetterdienstes (z.B. Verdunstung, Bodenfeuchte) und im UmweltAtlas des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (z.B. Grundwasserneubildungsrate). Auf die aktuellen Entwicklungen beim Grundwasserhaushalt und bei den Grundwasserständen wird in Kapitel 2.4 und 3.2. eingegangen.

Prognose zum Wasserhaushalt für die Region

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat gebietsbezogen den Klimawandel in Bayern untersucht und regionale Klimaprojektionen ausgewertet. Es gibt dabei eine Anzahl von Klimaprojektionen, auf Basis unterschiedlicher Szenarien und Modelle, mit unterschiedlichen Ergebnissen in Bezug auf die Prognosen. Bei den Prognosen zu Niederschlagsmengen bestehen die größeren Unsicherheiten.

Die Prognose einzelner Wasserhaushaltsgrößen ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

1. Bedeutung des Grundwassers

Wasserhaushaltsbezogene Auswirkungen

Es ist damit zu rechnen, dass sich die prognostizierten klimatischen Veränderungen in Form von Starkregenereignissen, Hochwasser und Hitze- und Trockenperioden auch auf das Grundwasserdargebot, den Wasserhaushalt und die damit verbundenen umwelt- und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen auswirken werden.

Grundlegend muss festgestellt werden, dass es als Folge der Klimaveränderungen sowohl zu steigenden als auch zu sinkenden Grundwasserspiegeln kommen kann:

- Höhere Grundwasserhochstände v.a. in der zweiten Hälfte des hydrologischen Winters durch erhöhte winterliche Niederschläge.
- Im Winter häufigere und längere Phasen von Staunässe aufgrund der Form des Niederschlags als Regen statt als Schnee.
- Grundwassertiefstände v.a. im Sommer aufgrund prognostizierter negativer Wasserbilanz (d.h. wegen der Temperaturzunahme und der längeren Vegetationsperioden wird mehr Wasser verdunstet und verbraucht als dem Bodenwasserhaushalt durch Landregen zugeführt wird).

Klimaprognosen für den Zeitraum 2021 – 2050 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1971-2000

Aus „Regionalbericht Regnitz“, LfU Bayern [24], wenn keine andere Angabe (hier Datenauswahl aus Projektionen WETTREG)

Lufttemperatur im Sommer	Temperaturzunahme im Sommer (Juni-Aug.) + 0,7 °C bzw. + 1,6 °C
Lufttemperatur im Winter	Die stärkste Temperaturzunahme erfolgt im Winter (Dez. – Feb.) + 1,5 °C bzw. + 1,8 °C
Eis und Frosttage	Deutlicher Rückgang der Frost-/ Eistage -15 bis -20 Tage / -7 bis -10 Tage
Niederschlagsmenge im hydrologischen Winter	Voraussichtlich leichte Zunahme um 0-10 %.
Niederschlagsmenge im hydrologischen Sommer	Voraussichtlich leichte Abnahme um ca. -5 % bis -10 %; bis Ende des Jahrhunderts ist eine deutlichere Abnahme des Niederschlags im Sommerhalbjahr zu erwarten (bis zu ca. -20% in Nordbayern) [25].
Stark- und Extremniederschläge	Allgemein wird mit einer Zunahme von Stark- und Extremniederschlägen gerechnet [26].
Regen statt Schnee im Winter	Die deutlich höheren Monatsmitteltemperaturen in den Wintermonaten - das Minimum liegt 2040 bis 2050 bei +3,06 °C im Januar - lassen darauf schließen, dass zukünftig mit spürbar weniger Schneefall bzw. mit keiner länger anhaltenden Schneebedeckung zu rechnen ist. Der Großteil des Winterniederschlags wird in Form von Regen fallen [12].

Prognose für Wasserhaushaltsgrößen für die nahe Zukunft (2021- 2050)

Aus KLIWA-Heft 17 [128] für die naturräumlich-hydrogeologisch Einheit des Fränkische Keuper-Lias-Land, in dessen südöstlichem Areal sich Nürnberg befindet:

Verdunstung	- 10 bis + 10 mm/a; dabei Verschiebungen in der jahreszeitlichen Verteilung: Zunahme der Verdunstung im Winter aufgrund der Temperaturzunahme; Verringerung der Verdunstung im Sommer wegen einer tendenziellen insgesamt negativen Wasserbilanz, d.h. mangelndem Bodenwasserhaushalt (leicht abnehmend im Juli-August).
Gesamtabflusshöhe und Sickerwasserrate	Verminderung des Abflusses um -10 mm/a bis -50 mm/a pro Jahr. Dabei wird v.a. im Sommer eine Tendenz zu spürbar geringeren Werten bei Abfluss und Versickerung festgestellt, während im Winterhalbjahr geringfügig höhere Gesamtabflüsse und Sickerwasserraten erwartet werden.
Grundwasserneubildung	Die Prognose für eine klimawandelbedingte Verringerung der Grundwasserneubildungsrate liegt für den Raum Nürnberg bei -5 bis -10 mm/a [27], dies entspricht 5 - 10 % [22].
Trockenheitsindex	Der aktuelle Trockenheitsindex liegt in der Region im Mittel der Jahre 1971-2000 bei 50 bis 80 Tagen im Jahr. Für den Szenariozeitraum 2021-2050 wird eine Zunahme um 10 bis 20 Tagen/a (2-3 Wochen im Jahr) erwartet, die nahezu ausschließlich in den Sommermonaten zusätzlich auftreten. In der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts muss mit einem deutlichen zusätzlichen Anstieg der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer gerechnet werden [[28]; [29]].

Tabelle 4: Prognosen für Klima- und Wasserhaushaltsgrößen

Die Folgen des Klimawandels für den Wasserhaushalt sind in nachfolgender Tabelle 5 aufgeführt.

Mögliche Klimafolgen auf wasserbezogene Themenfelder	
Mögliche Klimafolgen	Erläuterung
Die Folgen höherer Temperaturen	
Höherer Grundwasserbedarf	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung des Bewässerungsbedarfs bei städtischem Grün und in der Landwirtschaft aufgrund häufigerer Trockenperioden verbunden mit reduzierter Wasserverfügbarkeit Verlängerung der Wasserzehr- und Bewässerungszeiten durch Veränderung der Phänologie (z.B. frühere Blüte und Wachstumsphase), zweite Ernte [30] Steigerung der sommerlichen Spitzenlasten [30]
Verschlechterung der Grundwasserqualität	<ul style="list-style-type: none"> steigende Grundwassertemperaturen bedingt durch steigende Jahresmitteltemperaturen, aber auch durch die Klimatisierung der Gebäude mittels Erdwärmetauscher [30] (vgl. Kapitel 3.3.2.) höhere Düngeeinträge (Nitratbelastung) durch mehr Ernten und Fruchtfolgen
Auswirkungen auf die Gewässer-Ökosysteme und die Gewässerqualität	<ul style="list-style-type: none"> Da die Wassertemperatur von stehenden und auch fließenden Gewässern eng an die Entwicklung der bodennahen Temperatur gekoppelt ist, muss zukünftig von einer Erwärmung der Gewässer ausgegangen werden. Als mögliche negative Auswirkungen werden genannt: Veränderung der Lebensgemeinschaften, Rückzug temperatursensibler Arten in Richtung Oberlauf verknüpft mit Einschränkungen des Lebensraums, Vermehrung von Neobiotika (gebietsfremde Arten), Sauerstoffmangel [[22]; [31]].
Die Folgen sinkender Grundwasserspiegel	
Verringerung der örtlichen Grundwasservorräte	<ul style="list-style-type: none"> Verstärkte Wasserzehrung aufgrund höherer Verdunstung als Folge höherer Temperaturen und Verlängerung der Vegetationszeit. Verringerung des Wasserdargebotes v.a. im Sommer Erhöhter Grundwasserbedarf
Verringerung der Verdunstung verbunden mit dem Fehlen des kühlenden Effektes	<ul style="list-style-type: none"> Die erwartete negative Wasserbilanz führt dazu, dass v.a. im Hoch- und Spätsommer weniger Grundwasser zur Verdunstung zur Verfügung steht. Verdunstung würde jedoch zu einer Verringerung der Oberflächentemperatur führen und damit dem Wärmeinseleffekt entgegenwirken [32]. Eine verringerte Verdunstung hat eine verringerte Kühlleistung zur Folge.
Verringerter Abfluss und Niedrigwasserpegel bei Gewässern	<ul style="list-style-type: none"> Der Trockenwetterabfluss von Gewässern, d.h. die Wasserführung während Trockenperioden, besteht ausschließlich aus zufließendem Grundwasser. Bei sinkendem Grundwasserdargebot verringert sich dieser Zufluss. Die Folge kann eine Austrocknung der Gewässer sein. Im extremen Trockenjahr 2015 war im August ein extrem niedriger Wasserstand in der Pegnitz zu verzeichnen.
Verlust grundwasserabhängiger Lebensräume / Biotope	<ul style="list-style-type: none"> Das Trockenfallen bzw. Niedrigwasserstände bei Gewässern sind verbunden mit Verschiebungen der Artengemeinschaften und Ökosysteme (Vorkommen und Konzepte in und für Nürnberg vgl. Kapitel 1.1.).
Die Folgen steigender Grundwasserspiegel	
Schäden an der Bausubstanz	<ul style="list-style-type: none"> Verursacht durch mögliche höhere und länger anhaltende Grundwasserhochstände und / oder Staunässe (vgl. Kapitel 5.2.3.)
Erhöhung des Anteils von Fremdwasser im Kanalnetz und den Kläranlagen	<ul style="list-style-type: none"> Verbunden mit nötigen Investitionen
Verschlechterung der Grundwasserqualität	<ul style="list-style-type: none"> Auswaschung der Böden und damit Anreicherung von Salzen bzw. dem Eindringen von Altlasten ins Grundwasser [30]
Folgen zunehmender extremer Niederschlagsereignisse	
Steigende Überflutungsgefahr auf Straßen und Grundstücken	<ul style="list-style-type: none"> Bei extremen Niederschlagsereignissen fällt so viel Regen in kurzer Zeit auf eine Fläche, dass das Wasser nicht schnell genug oberflächlich abfließen kann und in kürzester Zeit Straßen, Häuser und Keller überflutet werden können (z.B. bei Sturzfluten). Bei Starkniederschlägen können die Abwasserkanäle nicht alles anströmende Wasser aufnehmen. Die Leistungsfähigkeit von Kanälen, Leitungen und Gewässern kann dann deutlich überschritten werden. Trotz Regenentlastungsmaßnahmen können solche seltenen Regenereignisse nicht von der Infrastruktur beherrscht werden; eine entsprechende Erweiterung des Kanalnetzes wäre unverhältnismäßig und nicht realisierbar [36].
Häufigere Hochwasserereignisse, Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> Durch hohen, raschen Oberflächenabfluss in die Oberflächengewässer

Tabelle 5: Mögliche Klimafolgen auf wasserbezogene Themenbereiche

1.3.2. Maßnahmen und Handlungsfelder zur Milderung der Klimawandelfolgen

Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen haben oft einen langen planerischen Vorlauf. Wirkungen können zudem meist erst mit Verzögerung wahrgenommen werden. Daher ist eine frühzeitige und konsequente Maßnahmenplanung mit Festschreibung konkreter Umsetzungsschritte unabdinglich.

Das Referat für Umwelt und Gesundheit engagiert sich seit langem für den Schutz unseres Klimas und seit 2009 auch für die Anpassung an den nicht mehr zu vermeidenden Klimawandel [33]. Der Schwerpunkt beim Thema Klimaanpassung liegt bisher auf dem Handlungsfeld Hitze. Im Rahmen von Projekten und Konzepten wurden Datengrundlagen und Maßnahmenkataloge erarbeitet. Zu nennen sind hierbei das Handbuch Klimaanpassung [34], der Klimafahrplan 2010 – 2050 [35] und das Stadtklimagutachten [11]. Der sukzessiven Umsetzung dieser Maßnahmen hat sich die Stadt Nürnberg durch Beschlussfassungen des Stadtrates und seiner Ausschüsse verpflichtet.

Auch im Hinblick auf wasserwirtschaftliche Belange werden in Nürnberg bereits in verschiedenen Aufgabenbereichen, die Klimafolgen berücksichtigt. Dies geschieht u.a. auf der Basis gesetzlicher Verpflichtungen in Zusammenarbeit staatlicher und kommunaler Behörden.

Vorsorgende Maßnahmen

Hochwasserschutz

Die staatlichen Wasserwirtschaftsämter ermitteln in der Regel die Überschwemmungsgebiete (ÜG) der größeren Fließgewässer, die Stadt Nürnberg die der kleinen Fließgewässer. Grundlage für die Ermittlung ist das sogenannte 100-jährliche Hochwasser, also ein Hochwasser, das statistisch betrachtet einmal in 100 Jahren auftritt. Hinweise zum Stand der Ermittlung, vorläufigen Sicherung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten finden sich auf der Homepage des Umweltamtes unter <https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/ueberschwemmungsgebiete.html>.

Ziel ist die Freihaltung der ermittelten Überschwemmungsgebiete von Bebauung und / oder die jeweilige Durchführung von Vorsorge- und Schutzmaßnahmen.

Mit der Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen kann das Überschwemmungsrisiko sowie die Fläche des Überschwemmungsgebietes verringert werden. Hochwasserschutzmaßnahmen werden mit einem Klimaänderungszuschlag von 15% geplant [31].

Im Stadtgebiet Nürnberg wurden bereits für 9 Gewässer die Überschwemmungsgebiete ermittelt und vorläufig bzw. abschließend festgesetzt. Die Bearbeitungspriorität richtet sich dabei nach der Einstufung der Gewässer (I. und II. Ordnung) sowie bei Gewässern III. Ordnung nach dem Gefährdungsrisiko für Bebauungen bzw. nach der Bebauungsdichte und

Infrastruktur. Bis zum Jahr 2023 sollen nach derzeitigem Planungsstand für alle relevanten Gewässer im Stadtgebiet die Überschwemmungsgebiete ermittelt sein.

Am Hirschsprung- und Bucher Landgraben sind bereits Hochwasserschutzmaßnahmen umgesetzt. Für weitere Gewässer wurden oder werden derzeit Maßnahmenkonzepte erstellt und entsprechende Sicherungsmaßnahmen mittel- bis langfristig umgesetzt (Gaulnhofener Graben im Bereich Eichenlöhlein, Langwassergraben v.a. im Bereich Altenfurt, Gründlach im Bereich Ortsteil Neunhof, Goldbach und Fischbach).

Überflutungsschutz bei Überlastung des Kanalnetzes bei Extremwetterereignissen

Die Dimensionierung des Kanalnetzes erfolgt gemäß den anerkannten Regeln der Technik (DWA-Regelwerke und DIN-Normen). Der Überflutungsschutz wird bis zu einem zwei- bis dreijährlichen Regenereignis grundsätzlich durch die Stadtentwässerung gewährleistet.

Darüberhinausgehende, seltenere, außergewöhnliche Starkniederschlagsereignisse dagegen können die Abwasserkanäle nicht mehr vollständig aufnehmen. Eine entsprechende Erweiterung des Kanalnetzes wäre unverhältnismäßig und damit nicht realisierbar. Der Überflutungsschutz bei Extremwetterereignissen ist eine Gemeinschaftsaufgabe der Kommune und der Grundstückseigentümer. Es bedarf bei der Planung die Einbeziehung von öffentlichen Verkehrs- und Freiflächen sowie den lokalen und privaten Objektschutz.

Als Entscheidungsgrundlage für zu planende Vorsorge- und Schutzmaßnahmen dient die, seitens der Nürnberger Stadtentwässerung veranlasste, hydrodynamische Überrechnung des Kanalnetzes, die 2018 vorliegen wird. In der Broschüre „Zukunftsweisender und nachhaltiger Umgang mit Regenwasser“ der Stadtentwässerung Nürnberg [36] wird die Thematik umfassend aufgegriffen und Maßnahmen vorgestellt. Zur Bewältigung dieser Aufgabe bedarf es in vielen Städten, so auch in Nürnberg, einer intensiven Zusammenarbeit verschiedener städtischer Verwaltungseinheiten.

Die Stadt Nürnberg beteiligt sich derzeit an dem Projekt „Kommunale Überflutungsvorsorge, Planer im Dialog“, um die Zusammenarbeit zu stärken und Erfahrungen anderer Städte zu nutzen. Das Deutsche Institut für Urbanistik (Difu) wirkt dabei vermittelnd mit. Auf städtischer Seite sind die Dienststellen Stadtplanungsamt, Umweltamt und Feuerwehr sowie die beiden städtischen Eigenbetriebe Service Öffentlicher Raum (SÖR) und Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN) beteiligt.

Trinkwasserversorgung

Eine Studie zur Versorgungssicherheit bei der Trinkwasserversorgung in Mittelfranken aus dem Jahr 2016 [27] belegt, dass In Nürnberg eine uneingeschränkte Versorgungssicherheit für das Prognosejahr 2025 gegeben ist. Aufgrund der auf 3 Standbeine aufgestellten Trinkwasserversorgung für Nürnberg (vgl. Grundwasserbericht 2011 [1]) werden keine Defizite bei der Wasserversorgung sowohl beim Jahreswasserbedarf als auch bei dem Tagesspitzenbedarf erwartet. Zur langfristigen Sicherung der Trinkwassergewinnungsanlagen ist u.a. der Grundwasserschutz von ausschlaggebender Bedeutung, um dieses zentrale Lebensmittel weiterhin in guter Qualität und Quantität bereitstellen zu können.

Wasserversorgung für die landwirtschaftliche Bewässerung

Der Wasserknappheit, bezogen auf den großen Wasserbedarf für die landwirtschaftliche Beregnung im Knoblauchsland, wurde durch den Zusammenschluss der Landwirte im Wasserverband Knoblauchsland und dem seit 2004 eingerichteten Wasserbeileitungsprojekt begegnet (vgl. Kapitel 1.5.).

Planerische Maßnahmen

Umgang mit Regenwasser

Bei jeder urbanen Flächennutzung ist grundsätzlich auf eine ausgeglichene Wasserbilanz zu achten. Dabei ist zunächst das Halten und Zwischenspeichern von Regenwasser Vor-Ort, d.h. im Gebiet, von Bedeutung. Vorgaben zum ortsnahe Umgang mit Niederschlagswasser sind seit 2003 in der städtischen Abwasser-Gebührensatzung und im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) seit 2010 festgelegt. In der Bauleitplanung werden in Nürnberg regelmäßig Konzepte und Maßnahmen zur ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung erstellt und umgesetzt. D.h., dass bei einer Neubebauung das Niederschlagswasser von befestigten Oberflächen konsequent Vor-Ort beseitigt und vorrangig versickert werden soll. Damit wird der Oberflächenabfluss reduziert und das Wasser dem Bodenwasserspeicher sowie der Grundwasserneubildung zur Verfügung gestellt (vgl. Kapitel 5.3.).

Nutzung der klimatischen Funktion von Wasser (Kühlung durch Verdunstung)

Durch den hohen Versiegelungsgrad und die sommerliche Grundwasserabsenkung reduziert sich das Verdunstungspotential und damit die Kühlleistung, was sich letztendlich auf das Bioklima in der Stadt auswirkt. Neben dem Wassergehalt des Bodens spielen hier auch die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Sonnenstrahlung, der Bodentyp und die Vegetation eine entscheidende Rolle.

Positiv wirken sich im Hinblick auf eine Verbesserung der Verdunstungsleistung Regenbewirtschaftungsmaßnahmen, Grünanlagen, Fassadenbegrünung, Gründächer, grüne Parkierungen und Gleistrassen und offene Wasserflächen aus. Der jeweilige Effekt ist abhängig von der Fläche und Ausgestaltung [37].



Abbildung 14: Begrüntes Gleisbett am Straßenbahnhof „Am Wegfeld“ (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Abbildung 15: Entwässerungsmulde zur Ableitung von Niederschlagswasser vor Ort (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Abbildung 16: Dachbegrünung auf dem Gebäude des CINECITA, gesehen vom Dach der Stadtbücherei (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

1. Bedeutung des Grundwassers

Eine der wichtigsten Klimaanpassungsmaßnahmen ist somit die Schaffung von Grünstrukturen in der Stadt. Sie tragen sowohl zur Minimierung von Temperaturbelastungen als auch zur Schaffung von Rückhalte- und Versickerungsflächen für Niederschläge bei.

- Die Stadt Nürnberg verfügt seit 2014 über ein gesamtstädtisches Freiraumkonzept („Masterplan Freiraum“), mit Hilfe dessen gerade in dicht besiedelten Stadtteilen für eine bessere Grünausstattung gesorgt werden soll [5].
- In diesem Zusammenhang steht auch die Nürnberger Initiative „Grün für Dächer, Fassaden und Hinterhöfe“. Eine wichtige Maßnahme hierbei ist die Förderung von Dach-, Fassaden- und Hofbegrünungen [38].
- Bei der Auswahl von zu pflanzenden Bäumen in Grünflächen und beim Straßenbegleitgrün wird auch auf die Auswahl hitzeresistenter Sorten geachtet.
- Grünflächen können klimawirksam ausgestaltet werden (vgl. [[34]; [11]] und Kapitel 1.3.3.).

Weitere Maßnahmen

Überwachung / Monitoring

Basis einer nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung ist die regelmäßige Beobachtung der Grundwassermenge und -beschaffenheit [31]. Die Stadt Nürnberg kommt diesem Grundsatz in Form der regelmäßigen Grundwasserberichterstattung (seit 1987) verbunden mit der regelmäßigen Auswertung von Grundwasseranalysedaten sowie der konsequenten Beobachtung von Grundwasserständen und -temperaturen an dem seit 2010/2012 eingerichteten Grundwasser- und Datenloggermessnetz nach.

Handbücher und Informationsmöglichkeiten

Kommunikation und Bewusstseinsbildung unterstützen die breitgefächerte und konsequente Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen sowohl in öffentlichen und gewerblichen wie auch im privaten Bereichen (vgl. Anhang I).

Eigenvorsorge und Objektschutz

Gemäß WHG §5 Abs.2 ist jede Person, die durch Hochwasser betroffen sein kann, im Rahmen des Möglichen und Zumutbaren verpflichtet, geeignete Vorsorgemaßnahmen zum Schutz vor nachteiligen Hochwasserfolgen und zur Schadensminderung zu treffen. Insbesondere die Nutzung von Grundstücken ist den möglichen Folgen für Mensch, Umwelt oder Sachwerte durch Hochwasser anzupassen.

Auf das Merkblatt des LfU „UmweltWissen - Wasser: Hochwasser-Eigenvorsorge: Fit für den Ernstfall“ [39] wird hingewiesen.

Nicht nur Hochwasser, sondern vor allem auch Starkregenereignisse – davon kann jeder Grundstückseigentümer betroffen sein – erfordern Maßnahmen der Eigenvorsorge um Schäden an Gebäuden und auf Grundstücken soweit wie möglich zu vermeiden. Zu nennen sind dabei z.B. Abdichtung der Gebäudehülle (Fenster, Lichtschacht), Einbau und Wartung eines Rückstauschutzes (weiter Informationsmöglichkeiten vgl. Anhang I).

Mögliche Maßnahmen der Landwirtschaft

Für die Beregnung bei landwirtschaftlicher Nutzung sollten effizienzsteigernde Methoden weiterentwickelt und eingesetzt werden. Hierzu zählen z.B. wassersparende Beregnungsmethoden und das Speichern und Nutzen von Niederschlagswasser (Rückhaltebecken) [30].

Die Wahl klimaangepasster Kulturen ist eine Maßnahme, die dazu beitragen kann den Bewässerungsbedarf und den Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden zu reduzieren.

Berücksichtigung vernässungsgefährdeter Gebiete

Die erwarteten längeren Perioden mit ergiebigen Niederschlägen vor allem im Winter, können zur Erhöhung der Grundwasserhöchststände und zu verstärkten Stau- und Schichtwasserauftritten führen. Dies ist u.a. bei der Ausweisung von Baugebieten zu berücksichtigen.



Abbildung 17: Hochwasserschutz an Bauwerk
(Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)

1.3.3. Mögliche Konsequenzen der urbanen Klimaanpassung

(Hochschule Weihenstefan-Triesdorf, Wassertechnologie - Prof. Dr.-Ing. Frank R. Kolb)



Abbildung 18: Freiflächen im Bebauungsplan von Nürnberg Rothenbach (Stand 2014); (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtplanungsamt [120], Luftbild: Nürnberg Luftbild, Hajo Dietz)

Das urbane Klima wird nicht nur durch die globalen Veränderungen und die städtische Lebensweise geprägt (vgl. Kapitel 1.3.1), sondern insbesondere durch den anhaltenden Zuzug in die Großstädte und Metropolregionen. Dieser Trend verschärft die Situation für bezahlbaren Wohnraum, auf den viele Städte mit einer Nachverdichtung der bebauten Flächen reagieren, die letztendlich zu einer Reduzierung der einwohnerspezifischen Grünflächenanteile und der Veränderung von Luftaustauschbahnen führen kann. Diese Randbedingungen beeinflussen den Wasserhaushalt vor allem in Bezug auf seine Evapotranspirationsanteile, so dass besonders bei Blockbebauungen das Mikroklima beeinträchtigt wird.

Die Stadt Nürnberg hat sich schon in unterschiedlichen Projekten mit der Mitigation des Klimawandels durch Wasserkonzepte erfolgreich auseinandergesetzt, wobei diese Projekte je nach Ausführung in mehr technische oder in naturnahe Lösungsstrategien münden können. Eine häufig angewendete Maßnahme ist die Versickerung von Niederschlagswasser mittels Mulden und / oder Rigolen. Eine weitere Variante besteht in der Errichtung von unterirdischen Speichereinheiten. Diese Lösungen sind zumeist mit einem erheblichen Flächenbedarf verbunden, der in vielen urbanen Kerngebieten nicht oder nur eingeschränkt vorhanden ist.

Der Oberflächenabfluss kann durch einen temporären Einstau in eine Mulde nachhaltig verringert werden, jedoch bleibt der klimawirksame Verdunstungsanteil gegenüber unbebauten Flächen relativ gering (Abbildung 19).

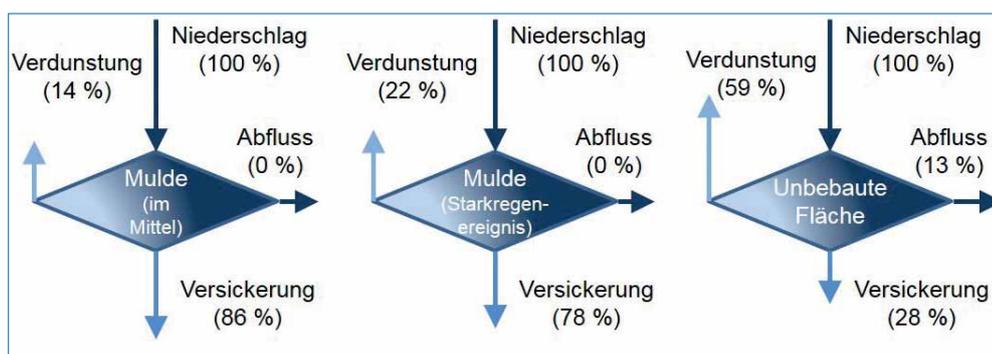


Abbildung 19: Wasserbilanz einer Muldenversickerung für unterschiedliche Regenereignisse im Vergleich zu einer unbebauten Fläche (Stadtgebiet - im Mittel: 600 mm/a, - Starkregenereignis: $h_N = 16,6 \text{ mm}$, $t_N = 30 \text{ Min.}$, SIEKER, 2015 [118], BECKER ET AL., 2015 [126], modifiziert)

1. Bedeutung des Grundwassers

Bei Starkregenereignissen ist als Folge des Klimawandels die Aufnahmefähigkeit des Bodens durch die im Allgemeinen längere Benetzungsdauer aufgrund der vorangegangenen Trockenperioden und / oder durch Erreichen der maximalen Infiltrationsgeschwindigkeit rückläufig. Die Verdunstungsrate kann dadurch zwar um 50 % gesteigert werden; sie bleibt aber gegenüber unbebauten Flächen nach wie vor deutlich niedriger.

Für viele urbane Begrünungsflächen wird Gras als Bodenbedeckung verwendet. Bodenfilteruntersuchungen an Straßenbegleitgrün haben eine erhöhte jahreszeitlich bedingte Kolmationsneigung nachgewiesen [40], die, aufgrund der ähnlichen Randbedingungen, auch für diesen Flächenbewuchs angenommen werden kann. Unabhängig von der Größe der begrünten urbanen Gebiete ist die Verdunstungsleistung dieser Flächen im Sinne einer Mikroklimaverbesserung zu maximieren.

Beeinflusst werden kann die Verdunstungsleistung durch die Gestaltung des Oberflächenbewuchses und den Bodenaufbau. An dem nachfolgend aufgeführten Beispiel von drei unterschiedlichen Bewuchsflächen (Kiesbeet, Rasenfläche, Steingarten) konnte gezeigt werden, dass die Verdunstungsleistung bis zu 25 % (Abbildung 20) variieren kann.

Die Nutzungsansprüche der städtischen Grünflächen erfordern oft eine Freihaltung größerer Flächen von Stauden und Gehölzen. Hier besteht über eine Grasbepflanzung und Minimierung von Schotter-, Stein- oder Asphaltflächen hinaus keine Möglichkeit durch den Oberflächenbewuchs die Verdunstungsleistung weiter zu erhöhen. Deshalb kommt der Gestaltung des Bodenaufbaus besondere Bedeutung zu.

Um die Verdunstungsleistung des Bodens bzw. dessen Wasserspeichervermögen auszuschöpfen, sollten mindestens drei Punkte erfüllt sein:

- Hohe Versickerungsleistung im Oberboden,
- niedrige Infiltrationsgeschwindigkeit im Unterboden,
- hohe pflanzliche Wasserverfügbarkeit.

Die hohe Versickerungsleistung im Oberboden führt bei Niederschlagsereignissen zu einer geringeren und verzögerten bzw. zu keiner Abflussbildung. Die niedrige Infiltrationsgeschwindigkeit im Unterboden erhöht die Wasseranteile in den oberen Bodenschichten, die über einen längeren zeitlichen Rahmen nach dem Niederschlagsereignis noch zur Verfügung stehen. Aufgrund der hohen pflanzlichen Wasserverfügbarkeit kann ein Teil wieder in den atmosphärischen Kreislauf durch die stomatär gesteuerte Transpiration eingebracht werden.

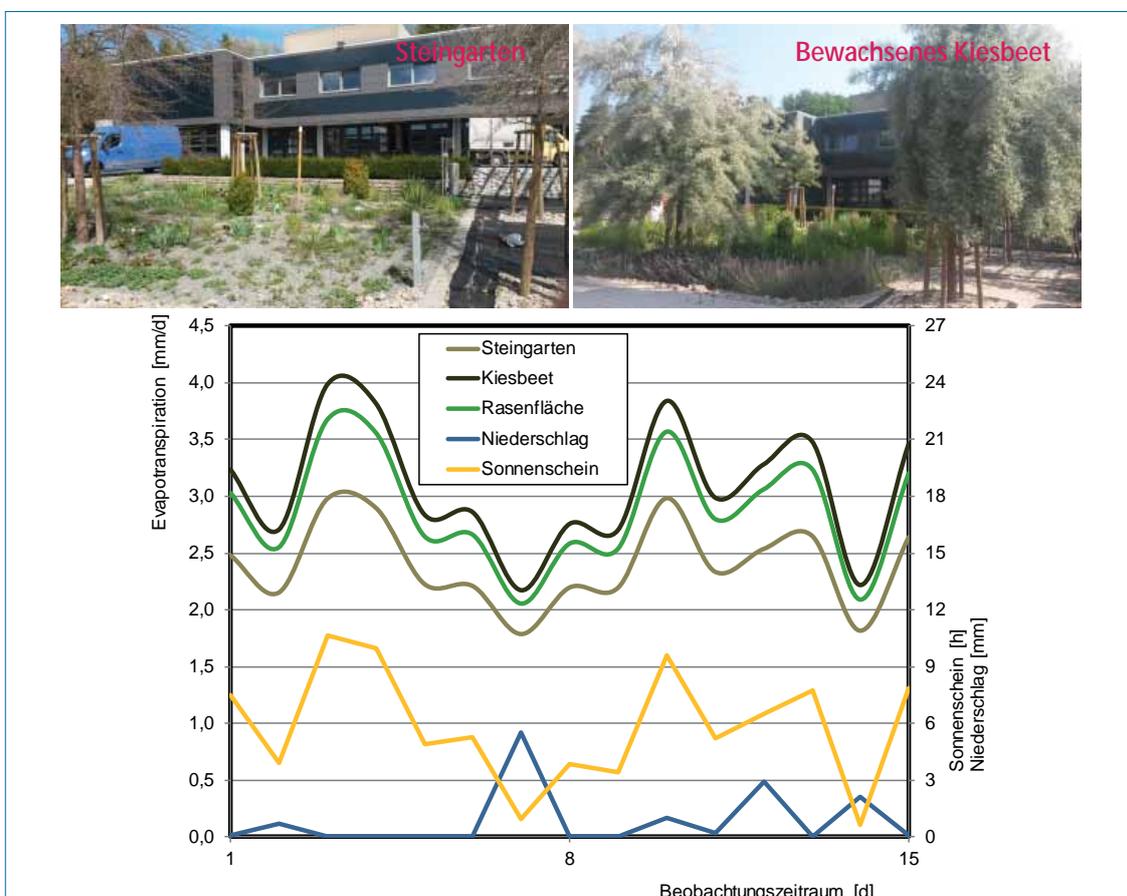


Abbildung 20: Verdunstungsleistung von unterschiedlichen Bewuchsflächen als Funktion der Sonnenscheindauer und der Niederschlagsmenge zwischen Vollfrühling und Frühsommer mit beispielhafter Bewuchsentwicklung für das Kiesbeet (nach BEYER, 2015 [86], modifiziert)

Aus diesen Forderungen ergibt sich ein Zielkonflikt zwischen der Stadtentwässerung, die eine schnelle Untergrundpassage mit einer hohen Grundwasserneubildungsrate anstrebt, und den urbanen Klimaverbesserungen, die eine möglichst langanhaltende Niederschlagsverfügbarkeit zur Temperaturregulierung bevorzugen.

Aus Sicht der Stadtentwicklung besteht die Möglichkeit, diesen Zielkonflikt mittels Begrünungsinseln, also kleinen Grünflächen, die noch in den Stadtzentren mit ihrer hohen Bebauungsdichte vorhanden sind, zu entschärfen. Dabei kommt den Böden in den wasserwirtschaftlichen Konzepten die Aufgabe als Speicher- und Reinigungsmedium zu.

Nur wenige natürliche Bodenstrukturen können die genannten drei Forderungen zur Maximierung der Verdunstungsleistung erfüllen, so dass bei kleinen innerstädtischen Grünanlagen eine technische Bodenmatrix eine mögliche Lösung zur Stadtklimabeeinflussung darstellt.

Diese Matrices können, wie in Abbildung 21 dargestellt, aus einzelnen verzahnten Bodenpaketen oder aus bautechnisch hergestellten Bodenschichten mit optimiertem Bodenbewuchs bestehen.

Die zukünftige Stadtentwicklung sowie die Beurteilung und Planung der städtischen Grünflächen sollte nicht nur nach ästhetischen, ökonomischen und wasserwirtschaftlichen, sondern auch nach klimawirksamen Kriterien erfolgen, da die voraussichtliche weitere Urbanisierung der Bevölkerung stetig voranschreiten wird und die heutigen Planungen erst in Jahrzehnten ihre Wirksamkeit entfalten können.

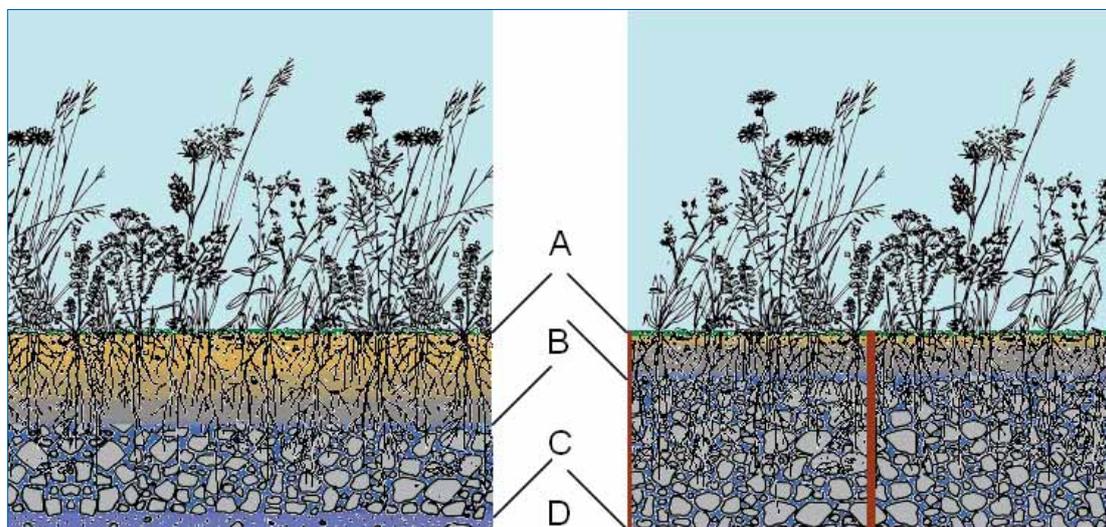


Abbildung 21: Aufbau eines natürlichen (links) bzw. künstlichen Substrats (rechts) zur zyklischen Nutzung von temporär gespeichertem Niederschlagswasser (Substrataufbau aus ZEH, 2010 [116], modifiziert)

- A: Bodenbewuchs
- B: Hauptdurchwurzelungszone
- C: ungesättigte Zone
- D: gesättigte Zone (links) bzw. Wasserstauer (rechts)

1.4. Grundwassernutzungen im Stadtgebiet

Grundwasser ist eine lebensnotwendige Ressource, die neben der Trinkwasserversorgung für eine Vielzahl weiterer Nutzungen benötigt wird. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Grundwassernutzungen im Stadtgebiet Nürnberg (Auswertung des Wasserbuchs Nürnberg). Die Lage der Brunnen ist in Karte 1, die Verteilung der Entnahmekontingente über das Stadtgebiet in Karte 2 dargestellt.

Im Umweltamt der Stadt Nürnberg sind 2525 Grundwasserentnahmebrunnen erfasst.

Wasserrechtliche und umweltfachliche Überprüfungen tragen Sorge dafür, dass die Grundwassernutzungen schonend und nachhaltig erfolgen. Der Schutz der Grundwasservorräte vor qualitativer Beeinträchtigung und Überbeanspruchung hat bei der Vergabe von Wasserrechten höchste Priorität.

Die genehmigten Entnahmekontingente stellen maximal erlaubte Entnahmemengen pro Jahr dar. Die tatsächlichen Entnahmemengen liegen bei den Betriebs- und Beregnungsbrunnen in der Regel bei 40 – 50 % des angegebenen Gesamtkontingents, bei der Trinkwassergewinnung nur bei 24 %. Unter diesen Gesichtspunkten werden derzeit in Nürnberg jährlich rund 12 Mio. m³ Wasser gefördert und davon rund 1,5 Mio. m³ in den Grundwasserkörper bzw. Wasserhaushalt zurückgeleitet.

Trinkwassergewinnung

Etwa 11 % des Nürnberger Trinkwasserbedarfs wird innerhalb des Stadtgebietes gewonnen. Im Wasserwerk Erlenstegen / Eichelberg werden täglich ca. 10.000 m³ Wasser gefördert, gereinigt und in das Trinkwassernetz eingespeist [41]. Dies entspricht einer jährlichen Entnahmemenge von rund 3,6 Mio. m³/a. Für ggf. nötige höhere Entnahmebedarfe steht ein Gesamtentnahmekontingent von knapp 15 Mio. m³/a zur Verfügung. Die weiteren Trinkwassergewinnungsanlagen befinden sich zum Teil weit außerhalb des Stadtgebietes (Ranna, Kämersweiher und Ursprung, Genderkingen). Informationen zur Trinkwassergewinnung für Nürnberg finden sie im Grundwasserbericht 2011 [1] und auf der Homepage des Wasserversorgers www.n-ergie.de.

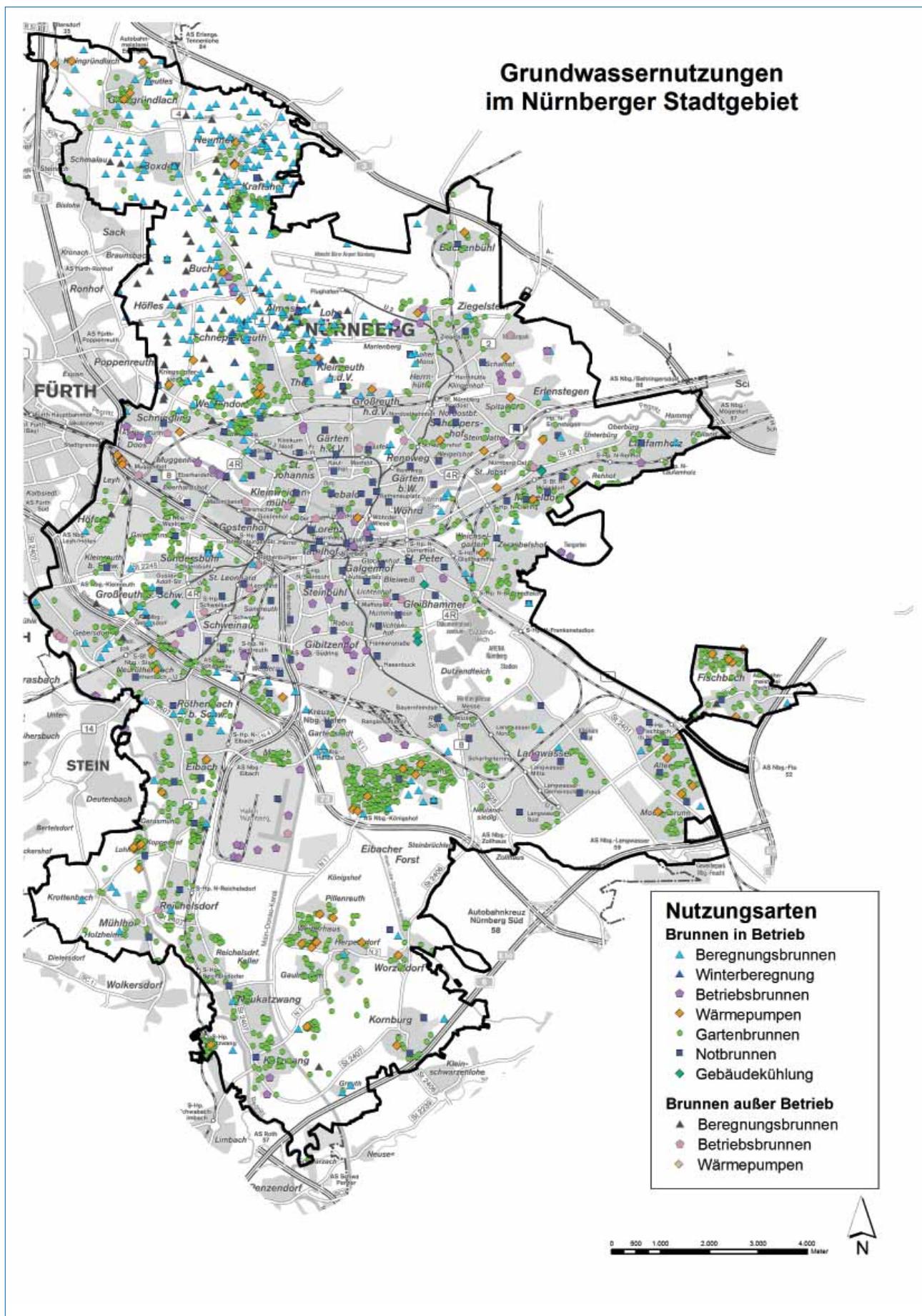
Einzelne Haushalte, die nicht an das Trinkwassernetz der N-ERGIE angeschlossen sind, müssen sich durch private Trinkwasserbrunnen versorgen. Im Stadtgebiet gibt es 36 Trinkwasserbrunnen (in der Karte 1 sind sie mit bei den Gartenbrunnen dargestellt). Sie befinden sich vorzugsweise im südlichen Stadtgebiet am Roten Bühl und in Randlagen des Stadtgebietes. Regelmäßige Pflichtuntersuchungen der Grundwasserqualität sollen sicherstellen, dass die Wasserqualität der Trinkwasserverordnung entspricht, teilweise muss eine kleine Aufbereitungsanlage vorgeschaltet werden.

Brunnennutzung	Anzahl Förderbrunnen		Genehmigte Entnahmekontingente (in Millionen Kubikmeter/Jahr [Mio. m ³ /a])	
	gesamt	Brunnen in Betrieb	gesamt	von Brunnen in Betrieb
Öffentliche Trinkwasserversorgung	96	96	14,9 ²⁾	14,9 ²⁾
Private Trinkwasserbrunnen	36	36	geringe Mengen	
Notbrunnen	119	119	nur bei Bedarf	
Betriebsbrunnen	66	43	5,3	3,9
Betriebsbrunnen der Großverbraucher (Deutsche Bundesbahn, Klärwerke, Tiergarten)	15	15	4,9	4,9
Betriebsbrunnen mit Grundwasserrückführung	9	8	0,5 ¹⁾	0,5 ¹⁾
Wärmepumpen	109	74	2,0 ¹⁾	1,2 ¹⁾
Größere Anlagen zur Gebäudekühlung (vier)	6	6	1,4 ¹⁾	1,4 ¹⁾
Beregnungsbrunnen	332	318	2,1	2,0
Beregnungsbrunnen Wasserverband	64	7	2,6	0,3
Gartenbrunnen	1673	1673	geringe Mengen	
Brunnen Gesamt	2525	2395	34	29

¹⁾ das geförderte Grundwasser wird über Schluckbrunnen dem Grundwasser wieder zugeführt.

²⁾ das Kontingent wird nicht komplett in Anspruch genommen; die durchschnittliche Tagesabgabe von Trinkwasser liegt bei 10.000 Kubikmeter [41] was 3,6 Mio. m³/a entspricht.

Tabelle 6: Übersicht der Entnahmebrunnen im Stadtgebiet



Karte 1: Verteilung der Brunnen im Stadtgebiet Nürnberg (Stand 2016; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Betriebliche Grundwassernutzungen

Viele Industriebetriebe benötigen Brauchwasser in ihrem Produktionsprozess und verschiedene Gewerbezweige für ihre Anlagen. Die Ansprüche an die Wasserqualität sind hierbei nicht so hoch wie die an Trinkwasser.

Die genehmigten Entnahmekontingente der Betriebsbrunnen betragen insgesamt ca. 10,7 Mio. m³/a. Dabei verfügen die Großverbraucher Deutsche Bahn, städtische Klärwerke und der Tiergarten, mit insgesamt 4,9 Mio. m³/a über fast 50 % der Kontingente bei den Betriebsbrunnen. Die andere Hälfte von etwa 5,8 Mio. m³/a verteilt sich auf 66 Betriebsbrunnen von 50 Betrieben.

Zudem fördern 7 Betriebe Grundwasser (Kontingent insgesamt ca. 0,5 Mio. m³/a), das dem Grundwasserkörper wieder zurückgeführt wird. Es wird zur Kühlung im Produktionsprozess benötigt.

Mit dem Strukturwandel vom Produktionsstandort zum Dienstleistungsstandort ging in der Vergangenheit der Bedarf an Brauchwasser für die Industrie in Nürnberg immer weiter zurück [1]. Einige der Betriebsbrunnen sind derzeit außer Betrieb, andere fördern weniger Wasser. Dieser Trend scheint nun gestoppt. Zwischen 2011 und 2016 wurde nur bei einem Brunnen die Nutzungserlaubnis widerrufen und gleichzeitig wurden 4 neue Betriebsbrunnen und weitere 5 Brunnen für Kühlzwecke genehmigt und errichtet. Weiterhin sind 3 neue Brunnen geplant, aber noch nicht gebohrt.

Gebäudekühlung und Wärmepumpenanlagen

Die Nutzung von Erdwärme über Grundwasserbrunnen zur Kühlung und zum Heizen stellt mit Entnahmekontingenten von insgesamt 3,5 Mio. m³/a eine relevante Bedeutung für die Ressource Grundwasser im Stadtgebiet dar. Diese offenen Systeme fördern Grundwasser und leiten es wieder in den Grundwasserkörper zurück. Es gibt darunter 4 große Anlagen zur Gebäudekühlung, die ca. 1,5 Mio. m³/a der Kontingente beanspruchen. Weitere 103 Wärmepumpenanlagen mit 109 Förderbrunnen, vorwiegend zum Heizen von Ein- und Mehrfamilienhäusern genutzt, benötigen eine Grundwassermenge von ca. 2 Mio. m³/a. Jedoch sind nach vorliegenden Kenntnissen nur mehr 71 Anlagen mit 74 Förderbrunnen in Betrieb. Im Kapitel 4 wird auf die geothermischen Nutzungen näher eingegangen.

Landwirtschaftliche Nutzung

Wie in Tabelle 6 ersichtlich, haben Beregnungsbrunnen einen hohen Anteil an der Gesamtzahl von Brunnen im Stadtgebiet. 396 Brunnen zur Bewässerung vorwiegend landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Flächen aber auch zur Bewässerung öffentlicher Flächen sowie von Sportplätzen sind im Wasserbuch registriert.

Vor allem bei der Bewässerung in der Landwirtschaft ist ein steigender Wasserbedarf zu erwarten. Die Zunahme der Ernten sowie der Klimawandel sind ein Grund dafür.

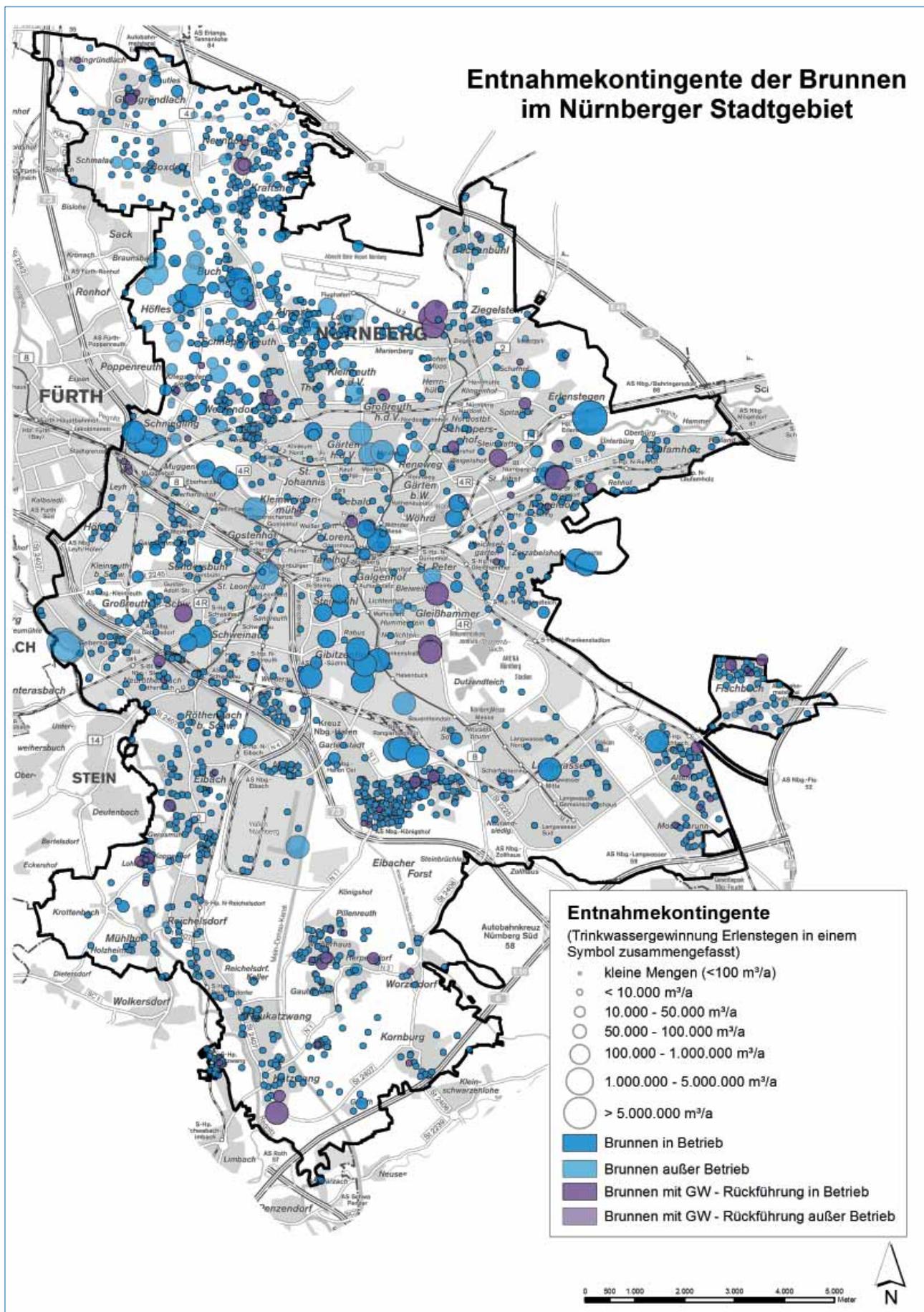
Besonders die gärtnerischen Sonderkulturen sind auf Beregnung angewiesen. Das Knoblauchsland zwischen Nürnberg, Fürth und Erlangen ist mit einer nutzbaren Fläche von ca. 1.500 ha das größte zusammenhängende Gemüseanbaugebiet Nordbayerns. Hier wird seit vielen Generationen Feldgemüse angebaut und damit die ortsnahe Versorgung des Großraumes mit frischem Gemüse gesichert. Da die örtlichen Grundwasservorräte für eine Beregnung nicht mehr ausreichen, wird am Zusammenfluss von Pegnitz und Rednitz in Fürth seit einigen Jahren vom Wasserverband Knoblauchsland überwiegend Uferfiltrat gewonnen und mit einer komplexen Anlage aus Rohrleitungen und Speicherbecken im ganzen Beregnungsgebiet verteilt [27] (vgl. Kapitel 1.5.). Durch die Wasserbeileitung für das Knoblauchsland konnten in diesem Gebiet seit 2004 ca. 60 Brunnen mit einem Gesamtkontingent von ca. 2,3 Mio. m³/a stillgelegt bzw. außer Betrieb genommen werden, so dass sich nun die, aus der vorhergehenden Überbeanspruchung, sehr angespannte Grundwassersituation erholen kann. Neue Brunnen für die Sommerberegnung können dort jedoch nach wie vor nicht genehmigt werden, da sich die Grundwasservorräte noch nicht ausreichend regeneriert haben (vgl. Kapitel 3.2.4.). Im übrigen Stadtgebiet wurden zwischen 2011 und 2016 15 neue Beregnungsbrunnen genehmigt.

Immer noch 2/3 der im Stadtgebiet in Betrieb befindlichen Beregnungsbrunnen (211 von 318 Brunnen) befinden sich im Gemüseanbaugebiet Knoblauchsland. Das restliche Drittel der Beregnungsbrunnen wird hauptsächlich durch Sportvereine oder Gärtnereien genutzt. Weiterhin werden Beregnungsbrunnen zur Bewässerung von Wohnanlagen und Parkflächen, als auch für die Winterberegnung der Gewächshäuser im Knoblauchsland verwendet. Auch im südlichen Stadtgebiet befinden sich Beregnungsbrunnen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen. Die in Betrieb befindlichen Beregnungsbrunnen haben ein genehmigtes Entnahmekontingent von knapp 2,3 Mio. m³/a. Dabei ist zu beachten, dass die tatsächliche Fördermenge in der Regel bei knapp 50 % der erlaubten Kontingente liegt.

Gartenbrunnen

Obwohl die Gartenbrunnen mehr als die Hälfte aller Brunnen im Stadtgebiet ausmachen, sind die Kontingente mit nur etwa 0,5 % der Gesamtmenge vergleichsweise klein. Der Wasserbedarf hier ist im Verhältnis sehr gering (<100 m³/a).

Gartenbrunnen sind private Brunnen die zur Bewässerung von Hausgärten und Kleingartenanlagen benutzt werden. Die Voraussetzung für die Errichtung von Gartenbrunnen kann angesichts der hydrogeologischen Verhältnisse im Stadtgebiet (Tiefenlage von Grundwasservorkommen) als gut angesehen werden. Einschränkungen gibt es in den Nürnberger Wasserschutzgebieten (z.B. Erlenstegen), in denen zum Schutz der Trinkwassergewinnung sonst keine Brunnen gebohrt werden dürfen. Im Knoblauchsland und in Büchenbühl bestehen ebenfalls Einschränkungen hinsichtlich Grundwassermenge und -qualität.



Karte 2: Verteilung der Entnahmekontingente im Stadtgebiet (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Grundwasser, das über Gartenbrunnen gefördert wird, ist ausschließlich als Nutzwasser und nicht als Trinkwasser zu verwenden. Aus diesem Grund dürfen Gartenbrunnen nicht mit den Hausinstallationen verbunden werden. Eine Vermischung im Leitungsnetz ist unbedingt zu vermeiden.

Notbrunnen

Notbrunnen dienen dazu, die Trinkwasserversorgung der Nürnberger Bevölkerung im Katastrophenfall sicherzustellen. Im Stadtgebiet existieren 119 Notbrunnen. Sie wurden nach Einwohnerzahl und förderbarer Wassermenge sinnvoll auf die Stadtteile verteilt. Die Versorgung ist so ausgelegt, dass im Bedarfsfall pro Kopf und Tag 15 Liter Wasser abgegeben werden können.

Mindestens alle 5 Jahre werden diese Brunnen auf ihre Grundwasserqualität hin untersucht. Die Notbrunnen sind von der Einhaltung der Vorgaben der Trinkwasserverordnung ausgenommen. Vielmehr unterliegen sie den Vorgaben des Wassersicherungsgesetzes (WasSG) und werden bei Bedarf vom Amtsarzt freigegeben. Im Bedarfsfall wird das Wasser von der Feuerwehr mit Hinweisen zur Aufbereitung (z.B. Abkochen) an die Bevölkerung ausgegeben. Notbrunnen eignen sich aufgrund ihrer gleichmäßigen Verteilung und ihrer regelmäßigen Überwachung (Ortsbegehungen, Grundwasserstandsmessungen, Grundwasseranalytik) sehr gut als Messpunkte für das Grundwassermonitoring, auf das in Kapitel 3 genauer eingegangen wird.

Temporäre Grundwassernutzungen / Bauwasserhaltungen

Temporäre Grundwassernutzungen sind speziell bei Bauarbeiten von Bedeutung, da zur Trockenhaltung einer Baugrube die Grundwasserniveaus teilweise abgesenkt werden müssen (vgl. Kapitel 5.2.3.). Durch Versickerung oder durch Ableitung in Oberflächengewässer soll nach Möglichkeit das abgepumpte Grundwasser unmittelbar in den Wasserkreislauf zurückgeführt werden. Dies ist bei etwa 40 % der Bauwasserhaltungen der Fall. Der Rest wird kostenpflichtig in die Kanalisation abgepumpt.

2016 wurden 77 Bauwasserhaltungen im gesamten Stadtgebiet erfasst. 2015 waren es 75. Insgesamt bleibt diese Zahl der Bauwasserhaltungen, auch aufgrund der aktuellen intensiven Bautätigkeit, auf diesem Niveau konstant.

1.5. Bewässerung des Knoblauchslandes - Aktuelles

(Wasserverband Knoblauchsland – Gerd Quergfelder, Stefan Dunger)



Abbildung 22: Rohrberegnung im Knoblauchsland (Quelle: 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 genutzt. Die leichten, sandigen Böden sind hervorragend für den Gemüsebau geeignet, bedürfen jedoch einer zusätzlichen Beregnung. Vom Wasserverband aus werden hierzu 880 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** und einer **Vorstandschaf**t bestehend aus 7 Vorstandsmitgliedern. Dem Vorstand unterstehen 45 **Abteilungsvorsteher** und 45 **Regenwarte**, welche sich in den Beregnungsabteilungen um die Abläufe im Detail kümmern. Die Verwaltung sowie die technische Betriebsführung werden durch 3 hauptamtliche Angestellte vollzogen, alle anderen Positionen sind Ehrenämter.

Die **technische Struktur** des Verbandes besteht aus einer Brunnenfassung mit 12 Brunnen im Wiesengrund Fürth (Kapellenruh). Die Leistungsfähigkeit der Brunnenanlage beträgt bis zu 600 l/s, die Hauptleitung (DN 600) zum Befüllen der Hochbehälter (je 6000 m³ Fassungsvermögen, Planendächer vermeiden Verschmutzung und Algenbildung; vgl. Abbildung 30) verläuft quer durch das Verbandsgebiet (Kapellenruh bis Almoshof). 6 Druckpumpwerke mit einer Leistung von bis zu 1.200 m³/h speisen über ca. 150 km Druckrohrleitungsnetz ca. 1.500 Hydranten, an denen die Betriebe Beregnungswasser entnehmen können. Die Steuerung des gesamten Systems erfolgt über ein Prozessleitsystem.

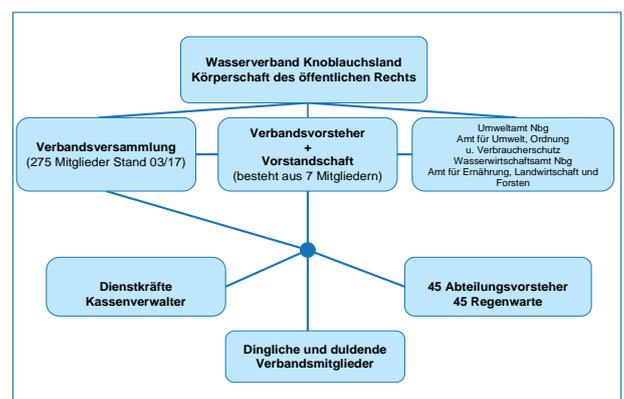


Abbildung 23: Übersicht Wasserverband (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)



Abbildung 24: Beregnungspumpwerk und Brunnenfassung (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

1. Bedeutung des Grundwassers

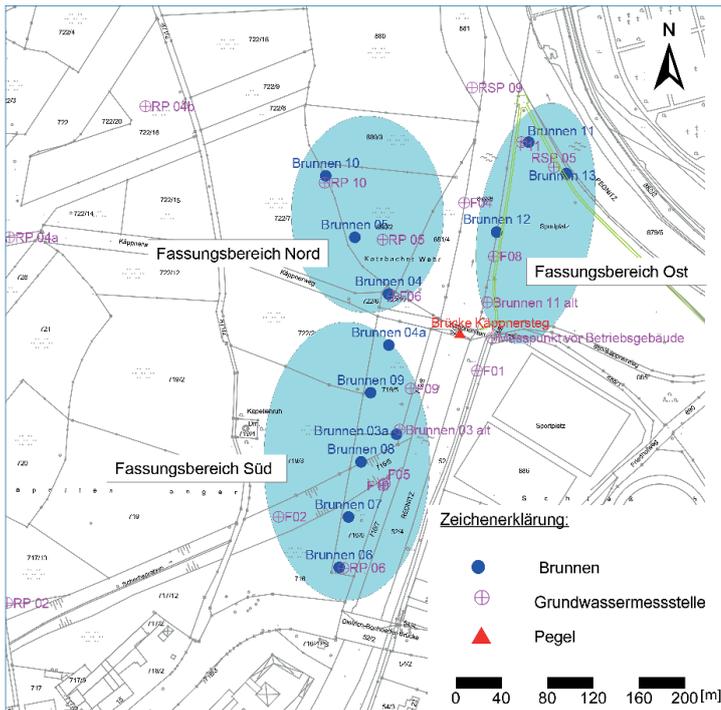


Abbildung 25: Lageplan der Brunnen und Messstellen (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland und Dr. Reiländer GmbH)

Betriebserfahrungen:

Seit der Inbetriebnahme der „Wasserbeileitung aus dem Regnitztal“ im Jahr 2004, zeigten sich bereits nach einigen Jahren jedoch verschiedene verbesserungswürdige Zustände.

So konnte aus der Brunnengalerie Kapellenruh in Spitzenbedarfszeiten lediglich eine Gesamtfördermenge von rund 450 Liter pro Sekunde umweltschonend und unter Vermeidung des entnahmeinduzierten Aufstiegs von hoch mineralisierten Tiefengrundwässern erfolgen. Diese Menge reichte jedoch nicht aus, um die Beregnung der Anbauflächen im Knoblauchsland ohne Einschränkungen auch in heißen trockenen Sommern sicher zu stellen. Daher wurde vom Wasserverband im Jahr 2009 beschlossen, die bestehende Brunnengalerie durch weitere drei Brunnen zu ergänzen und die Regelungstechnik umzustellen.

Für die Standortanalyse wurde mittels Refraktionsseismik der Talraum östlich der Rednitz näher untersucht. Die Grenze der Sande und Kiese der Rednitz gegen Sandstein oder Tonstein als Unterlager ließ sich damit in der Regel sehr genau abbilden. Es zeigte sich, dass auf der Ost-Seite der Rednitz keine Rinnenstruktur vorhanden ist. Die Mächtigkeit des quartären Lockergesteins betrug hier ca. 10 - 14 m.

Um diese Mächtigkeit hydraulisch gut ausschöpfen zu können, wurde der Pumpenschutzraum im Festgestein unter dem Quartär angeordnet. Mit einer relativ kurzen Filterstrecke im unteren, teilweise feinkiesigen Basisbereich wird verhindert, dass im abgesenkten Zustand Sauerstoff in den Grundwasserleiter eindringt.

Um die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters gut zu nutzen, wurden die Brunnen mit Edelstahlwickeldrahtfiltern in DN 500 und starkwandigen Vollrohren aus PVC ausgebaut. Da die Pumpen unterhalb der Filterstrecken sitzen, wird mit Saugmänteln die Kühlung der Pumpenmotoren gewährleistet.

Durch die Lage der Brunnen in einem vielfältig genutzten Naherholungsgebiet und im Überschwemmungsgebiet war es erforderlich, die oberirdisch sichtbaren Anlagenteile auf ein Minimum zu reduzieren. Die Schächte sind überflutungssicher, dicht verschlossen und gegen Auftrieb gesichert. Es wurden zur Lösung der oben erwähnten Problemstellungen Edelstahl Fertigschächte hergestellt und verbaut, die nur über eine Montageöffnung verfügen.

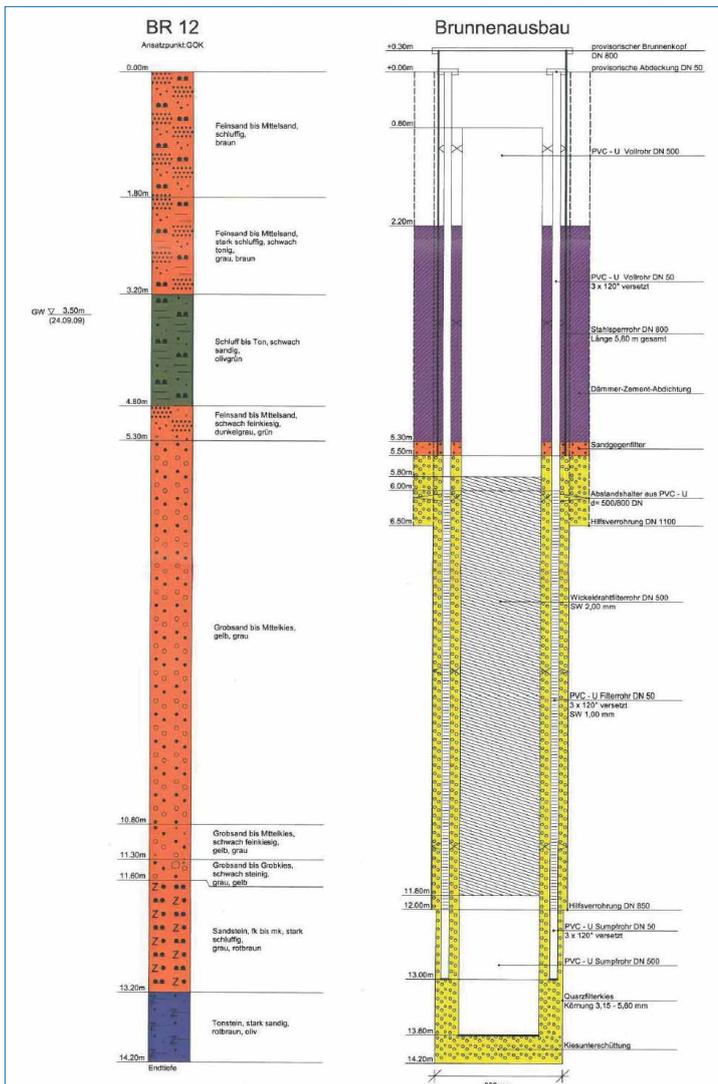


Abbildung 26: Bohrprofil eines Brunnens (Quelle: Weikert GmbH & Co.KG Brunnenbau-Bohrungen)

Im gleichen Zuge der Ergänzung wurde die gesamte Steuerungstechnik ausgetauscht. Die zuvor mit Sanftstartern betriebenen Brunnen wurden auf Frequenzsteuerung umgestellt. Mit den Sanftstartern war eine Regelung der Brunnenpumpen nicht möglich. Durch verändern der Drehzahl der Brunnenpumpen kann nun direkt Einfluss auf die Entnahmemenge und somit auch auf die Wasserabsenkung genommen werden. Durch die Überarbeitung des kompletten Steuerungssystems zur Befüllung der Hochbehälter können die Brunnen nun ressourcenschonend betrieben werden.

Durch die Steuerung ist es möglich mit allen jeweils in Betrieb befindlichen Brunnen ein gleichmäßiges Absenkkfeld zu erzeugen und somit den Grundwasserleiter möglichst schonend zu bewirtschaften. Weitere Kontrollparameter sind die Aufzeichnung der Leitfähigkeit, der Wassermenge und der Wassertemperaturen. Jedem Brunnen kann somit nun die optimale Förderleistung zugeordnet werden. Wird hier ein vorgegebenes Absenkkziel überschritten, so wird die Fördermenge automatisch reduziert. Durch den Betrieb mehrerer Brunnen mit geringer Fördermenge kann ein möglichst großräumiger und gleichmäßiger Absenkktrichter mit geringerer Absenkung des Wasserspiegels erzeugt werden, was sich dann auch positiv auf die Brunnenalterung auswirkt.

Mit der Einführung des Energiemanagementsystems im Jahr 2014 wurden die Fördermengen zusätzlich dem optimalen Wirkungsgrad mit dementsprechenden Energieaufzeichnungen angepasst. Die gesamte Anlage (Brunnen und Pumpwerke) kann über ein Prozessleitsystem von jedem der Pumpwerke aus über Touchpad und zusätzlich über PC jederzeit in allen Funktionen gesteuert werden.

Die Absenkung des Wasserspiegels in der Wasserfassung wird neben den Brunnen an mehreren Grundwassermessstellen im näheren Umfeld kontinuierlich gemessen. Diese Messungen dienen der besseren Steuerung der Anlage, aber auch der Beweissicherung.

Das geförderte Uferfiltrat ist qualitativ hochwertig. Die Parameter und vorgegebenen Grenzwerte für Beregnungswasser werden jederzeit sicher eingehalten. Das nitratarme Wasser kommt der Durchführung des Konzeptes zur Verminderung des Nitratreintrages im Bereich des Knoblauchslandes zu Gute.

Nicht nur die Bewirtschaftung der Brunnenfassung wurde seit Inbetriebnahme umgestellt, sondern auch die der Druckpumpwerke. Diese entnehmen das Beregnungswasser aus den Hochbehältern und speisen dann direkt die Hydranten an den Feldern.



Abbildung 27: Brunnenvorschacht vor und nach dem Einbau (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

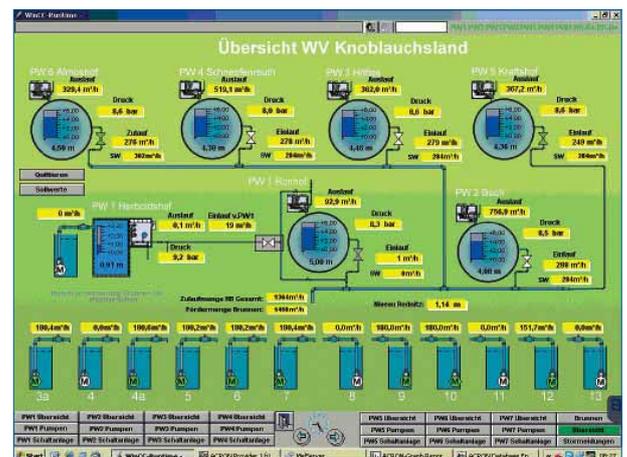


Abbildung 28: Systembild - Prozessleitsystem (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

1. Bedeutung des Grundwassers



Abbildung 29: Schaltanlage mit Frequenzumrichter
(Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

Da der technische Fortschritt und auch die Rentabilität von Frequenzumrichtern immer weiter fortgeschritten ist, entschloss sich der Verband im Jahr 2015 zur Umstellung der Beregnungspumpwerke auf Frequenzsteuerung.

So wurden bereits 3 Pumpwerke umgerüstet, die restlichen 3 Pumpwerke folgen in den Jahren 2017 – 2019. Durch die Umstellung hat sich bereits eine Energieeinsparung von ca. 20% ergeben. Weiterhin werden die Pumpen geschont und somit die Betriebssicherheit erhöht. Durch diese Maßnahme kann ein großer Beitrag zum Umweltschutz geleistet werden.

Fazit

Durch den Neubau von drei Brunnen und Umstellung der Technik wird eine dauerhaft gesicherte Förderung von 600 l/s ermöglicht. Damit ist es gelungen, die Versorgung mit Beregnungswasser für das Knoblauchsland störungsfrei und mit hoher Qualität sicher zu stellen. Durch die Investitionen in die Frequenzregelung konnte sowohl Grundwasserschutz wie auch Umweltschutz betrieben werden. Der Wasserverband Knoblauchsland ist für die Zukunft sehr gut aufgestellt.



Abbildung 30: Ansicht Hochbehälter Buch (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)

2. Hydrogeologie und Wasserhaushalt

2.1. Wichtige hydrogeologische Einheiten und deren Ausprägungen

(GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg - Dr. Alfons Baier)

Einführung

Der vorliegende Artikel soll einen Überblick über die komplexen geologischen und hydrologischen Verhältnisse im Untergrund der Großstadt Nürnberg vermitteln. Trotz der mittlerweile über 120-jährigen Forschungsarbeiten, welche teilweise nur spezielle Themenbereiche abdecken [[42]; [43]; [44]; [45]; [46]; [47]; [48]; [49]; [50]; [51]; [52]; [138]] sind aufgrund der ausgeprägten horizontalen und vertikalen Inhomogenitäten viele stratigraphische und hydrogeologische Gegebenheiten vor allem des tieferen Untergrunds noch heute mit Unschärfen behaftet.

Hydrogeologisch konnten – neben dem obersten Grundwasserkörper in den quartären Lockergesteinen – in den im Nürnberger Untergrund anstehenden Festgesteinsschichten mindestens sechs Grundwasserkörper nachgewiesen werden, von denen die tieferen Grundwasserleiter (Aquifere) teilweise unter artesischem Druck stehen. Hierdurch sind sie einerseits vor kontaminierten Sickerwässern geschützt und tragen andererseits lokal über tektonische Diskontinuitätsflächen sogar zur Wasseranreicherung der obersten Aquifere bei. Allerdings scheint jedoch eine strenge hydraulische Abgrenzung zwischen den einzelnen Aquiferen und Grundwasserhemmern (Aquicluden) nicht überall vorzuliegen. Stellenweise ermöglichen tektonische Diskontinuitätsflächen den Aufstieg von CO₂-reichen Tiefenwässern, was auch durch ein relativ häufiges Auftreten von artesisch gespannten Grundwässern unterstrichen wird.

An der Erdoberfläche des Nürnberger Gebiets treten vier in die anstehenden Keupergesteine eingetiefte Paläotäler in Erscheinung. Den in diesen „Urtälern“ anstehenden, hydraulisch stark durchlässigen Lockergesteins-Aquiferen kommt aufgrund der hier vorherrschenden starken Grundwasserhöflichkeit eine besondere Gewichtung zu.

Geologisch-tektonische Übersicht

Das rund 187 km² große Stadtgebiet von Nürnberg liegt in einem durch tektonische Ausweitungs Vorgänge entstandenen Einbruchsbecken [[51]; [53]; [54]]. Dieses „Nürnberger Becken“ stellt eine flache Muldenstruktur dar, in welcher die hier anstehenden Triasgesteine von einer Vielzahl von Störungen (überwiegend mit Abschiebungscharakter) durchzogen werden. Bis in den tieferen Untergrund ist der tektonische Bauplan durch Verbiegungen der Gesteinsschichten (Dutzendteichmulde, Fürther Mulde, Nürnberger Sattel) und durch Verwerfungen und ausgedehnte Störungszonen geprägt.

Das Basement wird im Nürnberger Raum von dem während der sudetischen Phase der variszischen Gebirgsbildung (-325 Mio. Jahre) aufgefalteten und später wieder weitgehend abgetragenen Grundgebirge aufgebaut. Die Oberfläche dieses „Alten Gebirges“ liegt im Untersuchungsgebiet heute auf einem Höhengiveau von rund 150 m unter NN.

Dem alpinotyp verfalteten Grundgebirge lagert diskordant das insgesamt rund 500 m mächtige Deckgebirge auf. Dessen Schichtenabfolge erweist sich vertikal wie lateral als sehr inhomogen und ist durch starke Fazieswechsel charakterisiert.

Die Schichten erstrecken sich von vermutlichen Zechsteinlagen im Liegenden über die mächtigen Schichtenfolgen des Buntsandsteins und des Muschelkalks sowie die Sedimentkomplexe des Gipskeupers bis zu den bereits an der Erdoberfläche des Nürnberger Stadtgebiets großflächig ausstreichenden Sandsteinen, Tonen und Letten (= sandige Tone) der Lehrbergschichten. Darüber folgen die Ablagerungen des Sandsteinkeupers mit dem Blasensandstein, dem Coburger Sandstein mit dem Stubensandstein sowie den Schichtgliedern des Unteren, Mittleren und Oberen Burgsandsteins.

Stratigraphie und Hydrogeologie im Nürnberger Becken

Der Untergrund von Nürnberg besteht aus mindestens sieben Grundwasserleitern, von denen sechs weitgehend unabhängig voneinander sind. Deren Wässer lassen sich auch anhand ihrer hydrochemischen Charakteristika voneinander unterscheiden [[55]; [56]].

Vom Liegenden zum Hangenden sind dies

- der Buntsandstein mit unterlagernden Zechsteinsedimenten,
- die Muschelkalkschichten,
- der Lettenkohlenkeuper,
- der Benkersandstein,
- der Schilfsandstein sowie
- die Sandsteine und Tone des Sandsteinkeupers.

In die Sedimentpakete des Sandsteinkeupers eingetieft sind eine Vielzahl quartärer Rinnen; die hierin anstehenden sandig-kiesigen Lockersedimente können Mächtigkeiten bis über 30 m aufweisen und erweisen sich als sehr ergiebige Aquifere. Diese entsprechen dem obersten, siebten nicht eigenständigen Grundwasserleiter.

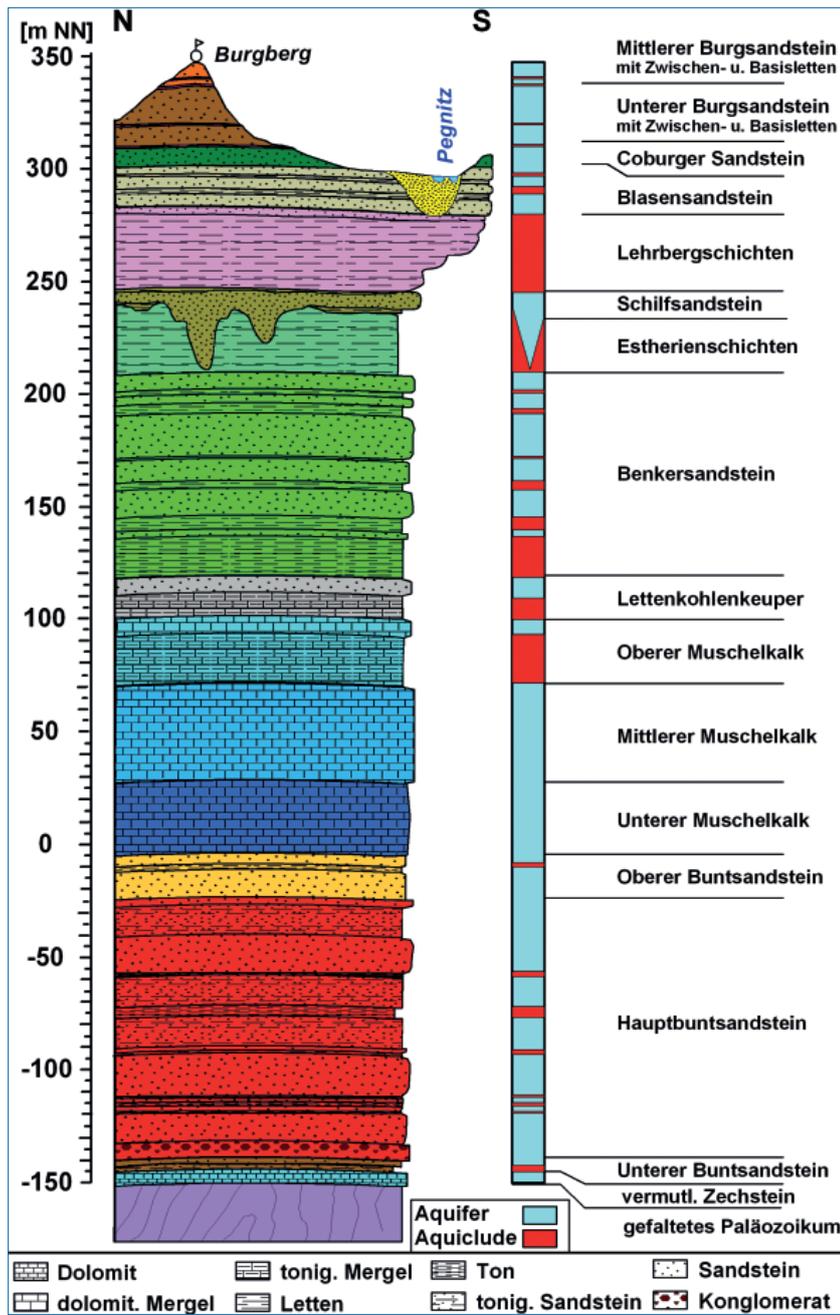


Abbildung 31: Schematisches petrographisches und hydrologisches Schichtenprofil des Deckgebirges im Bereich der Altstadt von Nürnberg. (Quelle: BAIER et al. (2016) [56], verändert).

Festgesteinsschichten

Die diskordant dem Grundgebirge aufliegenden, vermutlichen **Zechsteinsedimente** wurden in der im Westen von Nürnberg gelegenen, im Jahre 1935 abgeteuften Tiefbohrung „Espan“ in einer Gesamtmächtigkeit von 17 m durchfahren. Sie bestehen in ihren unteren Partien überwiegend aus reinen Dolomiten, während sich die oberen Schichten aus stark karbonatischen Sedimenten mit Aufarbeitungsprodukten aus dem variszischen Basement zusammensetzen [44]. Aus diesen rund 450 m unter der Geländeoberfläche liegenden Gesteinen stammt das an der Stadtgrenze Nürnberg / Fürth artesisch ausströmende, kohlendioxidreiche und mit > 12.000 mg/l gelösten Feststoffen stark mineralisierte Thermalwasser der Heilquelle „Espan“ [55].

Die darüber anstehenden, rund 150 m mächtigen **Buntsandsteinsedimente** werden von hellrötlichen bis gelblich-weißgrauen Sandsteinen unterschiedlicher Korngrößen aufgebaut.

Den Sandsteinschichten zwischengeschaltet sind verschiedene Geröll-, Konglomerat- und Tonschichten sowie geringmächtige Gips- und Salzlagen [46]. Die ebenfalls stark mineralisierten, über +22 °C warmen Thermalwässer aus dem Buntsandstein stehen unter derart hohem artesischen Druck, dass sie beim Aufschluss mittels Tiefbohrungen an der Erdoberfläche mit einer Steighöhe bis 13 m über Geländeoberkante (GOK) ausströmen [46].

Diese Mineralwässer aus dem Buntsandstein wurden Anfang des 20. Jhd. unmittelbar westlich der Stadtgrenze Nürnberg / Fürth mit der „König-Ludwig-Quelle I“, der „König-Ludwig-Quelle II“ und der „Bavaria-Quelle“ erschlossen.

Die Schichten des **Muschelkalks** erreichen im Untergrund von Nürnberg eine Gesamtmächtigkeit von 105 m. Sie bestehen aus dolomitischen, teilweise sandigen Mergeln und karbonatischen Feinsandsteinen. In den Mergeln des Mittleren Muschelkalks treten verstärkt Gips- und Anhydritlagen auf. Generell können die Muschelkalkschichten infolge von Verkarstungsvorgängen relativ große Hohlräume aufweisen und so als Karstaquifere wirksam sein. Die Grundwässer des gesamten Muschelkalkkomplexes weisen beachtliche Karbonat- und Gesamthärtegrade auf; auch sind aufgrund der im Mittleren Muschelkalk auftretenden Gips- und Anhydritlinsen in den Wässern sehr hohe Sulfatgehalte zu erwarten [55].

Die Schichtenabfolge des **Gipskeupers** setzt mit den 17 m mächtigen, weißen bis weißgrauen, feinkörnigen Dolomiten, Mergeln und Sandsteinen des **Lettenkohlenkeuper** ein [46]. Diese Schichten sind meist wasserführend. Da die Grundwasserkörper in die „Flutrinnen“ des Lettenkohlenkeupers eingebettet sind, ist die Lage und Ausdehnung der flächenmäßig begrenzten Grundwasservorkommen nicht genau abzugrenzen.

Im Hangenden folgt der insgesamt rund 95 m mächtige **Benkersandstein**. Diese Gesteinsserie besteht aus einer Wechselfolge von feinkörnigen, karbonatischen Sandsteinen und sandigen, als lokale Aquicluden wirkenden Tonen. Der Benkersandstein-Aquifer gilt als der wichtigste „Tiefenwasserspeicher“ im Nürnberger Raum und liefert hydrochemisch und bakteriologisch einwandfreies Wasser [50]. Die Sedimentabfolge enthält häufig syndesimentäre Einschaltungen von Steinsalz- und Gips-linsen. Hierdurch bedingt weisen diese Grundwässer hohe Chlorid- und Sulfat-Gehalte auf [[47]; [122]]. Generell enthalten alle Grundwässer aus den Aquiferen des Buntsandsteins über den Muschelkalk und den Lettenkohlenkeuper bis zum Benkersandstein hohe Gehalte an gelösten Feststoffen und können gemäß der aktuell gültigen Mineral- und Tafelwasser-Verordnung als Mineralwässer angesehen werden [57].

Artesische Brunnen, die bis in den Benker Sandstein abgeteuft wurden, werden von verschiedenen Autoren beschrieben [[58]; [48]]. Im Jahre 2000 wurde am westlichen Rednitzufer südlich der Gerasmühle ein 150 m tiefer Grundwasser-Beobachtungsbrunnen bis in den Benkersandstein abgeteuft, welcher artesisch gespanntes Grundwasser mit einer Steighöhe von 2,9 m über GOK ergab [1]. Die Grundwässer im Benkersandstein liegen zwar häufig artesisch gespannt vor; SPÖCKER [50] berichtet jedoch auch über tief in den Benkersandstein vorgetriebene Brunnenbohrungen mit freier Grundwasseroberfläche, während benachbarte Bohrungen subartesisch oder artesisch gespanntes Grundwasser aufschlossen. Dies legt die Vermutung nahe, dass im Nürnberger Becken artesisch auslaufende Wässer lokal beschränkt sind und durch das Zusammenwirken von bruch- und verbiegungstektonischen Strukturen beeinflusst werden. Diese artesisch ausströmenden Grundwässer treten bevorzugt in den Gebieten des Nürnberger Beckens auf, wo

tektonische Aufwölbungen in Muldenstrukturen übergehen und Störungszonen verlaufen.

Die Grundwässer des Benkersandsteins werden aufgrund der hier vorherrschenden, stark ausgeprägten artesischen Druckverhältnisse vor Kontaminationseinträgen aus den darüber anstehenden Aquiferen geschützt. Weiterhin scheint es plausibel, dass die stark mineralisierten Benkersandstein-Wässer über die Bereiche, in welchen die Rinnenfazies des Schilfsandsteins tief in die Estheriensichten eingreift (s.u.), in den Schilfsandstein-Aquifer vordringen. In diesen Rinnenbereichen ist die Mächtigkeit der eigentlich als Aquiclude wirksamen Estheriensichten auf nur wenige Meter reduziert [56].

Die den Benkersandstein überlagernden **Estheriensichten** werden von rund 20 m mächtigen Letten aufgebaut. Hydrogeologisch wirken diese Schichten als Aquiclude zu tiefer gelegenen Grundwasserstockwerken. Im Hangenden der Estheriensichten folgt die 11 m mächtige Wechselfolge von grauen sowie roten Sandsteinen und Tonlagen der flächig ausgebildeten „Normalfazies“ des **Schilfsandsteins** [59]. Der Schilfsandstein in „Rinnenfazies“ kann allerdings beträchtlich in die Letten der Estheriensichten eingetieft sein und hier eine Gesamtmächtigkeit von über 30 m erreichen [51]; in diesen Bereichen ist die grundwasserhemmende Funktion der Estheriensichten stark herabgesetzt. Der Schilfsandstein-Aquifer weist aufgrund seiner stark wechselnden Gebirgsdurchlässigkeiten stark schwankende Grundwasserhöflichkeiten auf. Die im Zusammenhang mit Störungen gehäuft auftretenden Klüfte können jedoch die hydraulischen Durchlässigkeiten lokal erhöhen und so eng umgrenzte, oft linear ausgebildete Grundwasservorkommen begünstigen.

Das Hangende der Gipskeuper-Einheit bilden die roten Letten und die feinkörnigen Sandsteinbänke der **Lehrberg-schichten**. Diese insgesamt 35 m mächtige Gesteinsabfolge ist wieder durch starke Fazieswechsel gekennzeichnet: Unregelmäßig in die Schichten eingeschaltet sind Schiefertone, Steinmergelbänke und Alabastergipse [50]. Hydrogeologisch wirken die Lehrberg-schichten als wichtige Aquiclude.



Abbildung 32: Typischer Muschelkalk-Aquifer: Starker Wasseraustritt aus verkarsteter Störungsfläche mit Klufftüllung; Norbertusheim-Stollen der Trinkwasserversorgung Würzburg. (Foto: BAIER, GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg).

2. Hydrogeologie und Wasserhaushalt

Über dem Sedimentpaket des Gipskeupers folgen die Schichtenkomplexe des **Sandsteinkeupers**. Diese überwiegend grobklastischen Sedimente sind durchzogen von mehreren, in Mächtigkeit und Ausprägung wechselnden Tonschichten. Dabei ist im gesamten Stadtgebiet ein kleinräumiger, sowohl horizontaler als auch vertikaler Wechsel zwischen Sandsteinen und tonigen Lettenlagen zu beobachten [1]. In den Bereichen mit großflächig ausgebildeten Lettenhorizonten treten „schwebende Grundwasserkörper“ auf.

Als unterstes Sedimentpaket des Sandsteinkeupers stehen die relativ weichen **Blasensandsteine** an. Sie werden aus tonigen, rotbraunen bis weißgrauen, fein- bis mittelkörnigen Sandsteinen mit zwischengeschalteten Tonlinsen aufgebaut. Die Sandsteine enthalten oftmals 2 cm bis 3 cm große Quarzgerölle. Die überwiegend sulfatfreien, jedoch sehr karbonathaltigen Grundwässer des Blasensandsteins zeichnen sich – vor allem im sauerstoffarmen Milieu – durch meist hohe Eisen- und Mangengehalte aus [50]. Im Hangenden des Blasensandstein steht der markante grüngraue, bis 3 m mächtige und als Aquiclude wirksame „Dachletten“ an.

Darüber folgt das 12 m bis 15 m mächtige Schichtpaket des **Coburger Sandsteins** mit fein- bis mittelkörnigen, harten Sandsteinen und unregelmäßig zwischengeschalteten Lettenschichten. In seinen oberen Partien steht im Nürnberger Gebiet der leicht verwitterbare **Stubensandstein** an [60]. Er besteht aus überwiegend grauen Sandsteinen mit sandigen Lettenlagen, den sog. Gallen. In den Sandsteinlagen kommen häufig schwarze Manganoxidbereiche vor. Lokal treten im Nürnberger Gebiet auffällige gelbbraune, feinkörnige Dolomitsandsteine mit kleinen Calcit- und Magnesitdrusen auf sowie linsenartig in die Stubensandsteine eingeschaltete Steinmergellagen („Quacken“), die eine bemerkenswerte Härte aufweisen können und früher bei Grundbauarbeiten gesprengt werden mussten. Diese „Quackenlagen“ stehen vorwiegend im Grenzbereich zum Unteren Burgsandstein an [45].

Die Schichten des Blasensandsteins, des Coburger Sandsteins sowie des Stubensandsteins stellen insgesamt sehr inhomogene Aquifere dar. Typisch für diese Schichtenabfolge ist eine vertikale und laterale Faziesverzahnung der Sandsteine mit

tonigen Lagen unterschiedlicher Mächtigkeiten und unregelmäßiger Verbreitung. Darüber hinaus erweisen sich die Festgesteine hinsichtlich ihrer hydraulischen Durchlässigkeiten im Allgemeinen als anisotrop, d.h. sie weisen (abhängig von dem jeweiligen tektonischen Trennflächengefüge) stark unterschiedliche Durchlässigkeiten in verschiedenen Richtungen auf. Die beobachteten Werte der Gebirgsdurchlässigkeiten betragen in diesen Schichtabfolgen von 10^{-6} m/s bis 10^{-5} m/s („schwach durchlässig“ bis „durchlässig“) [61].

Die insgesamt bis 90 m mächtigen Schichtglieder des **Unteren, Mittleren und Oberen Burgsandsteins** bauen die Hügel und Berge im Nürnberger Gebiet auf. Weiter im Norden und Osten streichen auf den das Nürnberger Becken umrahmenden Höhenzügen die stratigraphisch jüngeren Feuerletten sowie die Rhätlias-Übergangsschichten und die unteren Liassedimente aus und bilden eine erste, zum Steilanstieg der Frankenalb vermittelnde Schichtstufe.

Die Gliederung des Burgsandsteins in Unteren, Mittleren und Oberen Burgsandstein geht auf THÜRACH [[42]; [43]] zurück und wurde im 20. Jahrhundert durch HAARLÄNDER [62] überregional angewandt. Der Burgsandstein stellt eine überwiegend festländische Bildung aus Schüttungsfächern dar, die vom südlich gelegenen Vindelizischen Land antransportiert wurden. In Franken treten im Unteren Burgsandstein zwei Faziestypen auf. Im Inneren des Keuperbeckens ist die vorwiegend tonige „Heldburger Fazies“ ausgebildet, während an den Beckenrändern die meist sandige „Nürnberger Fazies“ abgelagert wurde.

Der **Untere Burgsandstein** setzt im Liegenden mit dem charakteristischen, 2 m bis 4 m mächtigen, grünvioletten bis gelblichen, sandigen Basisletten ein. Diese „Grenzletten“ bilden morphologisch eine Verebnung zwischen dem Coburger Sandstein im Liegenden und dem hangenden Unteren Burgsandstein aus. Über dem Basisletten stehen fein- bis mittelkörnige, seltener grobkörnige, hellgraue, gelbliche und rötliche Sandsteine an, die neben gut gerundeten Quarzen auch Feldspäte führen. Den massigen bis bankigen Sandsteinen mit tonigem und teilweise auch kieseligen Bindemittel sind mehrfach lokale Lettenlagen zwischengeschaltet [51]. Die Mächtigkeit dieses Sandsteinkomplexes beträgt rund 25 m.



Abbildung 33: Toniger Blasensandstein bei Seitendorf (Foto: BAIER, GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)



Abbildung 34: Unterer Burgsandstein mit Lettenlagen. Baugrube des Delfinariums im Tiergarten zu Nürnberg. (Foto: BAIER, GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)

In den liegenden und in den hangenden Partien des Unteren Burgsandsteins treten lokal verkieselte Arkosen auf. Diese markanten, rotbraunen bis violetten, feldspatreichen und sehr harten Sandsteine konnte FICKENSCHER [45] im Dutzenteichgebiet südlich des Flachweihers (heute Silbersee- und Silberbuck-Gebiet), im Raum südöstlich des Zeppelinfeldes und im Schmausenbuckgebiet am Weg nach Fischbach sowie in den Wasserleitungsstollen unter der „Gritz“ (= Gipfel des Schmausenbucks) beobachten.

Der **Mittlere Burgsandstein** beginnt im Liegenden mit dem rotvioletten bis grünen, rund 3 m mächtigen Basisletten, welcher Einschaltungen von Sandsteinbänkchen aufweist. Hierüber folgt das insgesamt 25 m bis 30 m mächtige Sedimentpaket von 3 m bis 5 m mächtigen, dickbankigen, mittel- bis grobkörnigen, gelben, roten und rostfarbenen Sandsteinen mit tonigem und lokal auch kieseligem Bindemittel. Am Schmausenbuck werden die Schichten des Mittleren Burgsandsteins von hellgrauen Sandsteinbänken und rotbraunen Letten aufgebaut. Zwischengelagert sind dichte Tonstein- und harte, rotbraune Steinmergelbänke mit Schwespat-Einschaltungen sowie dolomitische Arkosesandsteine [51].

In den höheren Niveaus des Mittleren Burgsandsteins treten über längere Distanz durchhaltende, rotbraune bis dunkelviolette, schwach sandige, glimmerreiche Zwischenletten auf. So deuten in vielen Bereichen des Nürnberger Reichswaldes Vernässungs- und Versumpfungszonen und typischer Pflanzenbewuchs wie Moose, Königsfarne und saure Gräser auf das Ausstreichen dieser Zwischenletten an der Erdoberfläche hin.

Am Schmausenbuck kommen in den Sandsteinbänken des Mittleren Burgsandsteins lokal dunkelviolette, dichte und sehr feste Sandsteinlinsen vor. Sie enthalten häufig in ihrem Bindemittel geringe Mengen von Uranphosphaten [[63]; [52]]. Fundstellen dieser uranföhrnden Burgsandsteine befinden sich hauptsächlich am Nordhang des Schmausenbucks in den unmittelbaren Hangendschichten der Basisletten. Bei diesen Urananreicherungen handelt es sich nicht um Bildungen in einem örtlich begrenzten Gebiet, sondern um in den fränkischen Burgsandsteinen weit verbreitete, charakteristische Einschaltungen. Diese so genannten Aktivarkosen liegen innerhalb des Sedimentverbandes meist in schichtparalleler Lagerung vor. Ihre Entstehung lässt sich dadurch erklären, dass zu verschiedenen Zeiten des Burgsandsteins die bereits abgelagerten, jedoch noch nicht verfestigten Sedimente von uranhaltigen Wässern durchströmt wurden, wobei das Uran aus granitischen Gesteinen des Vindelizischen Landes gelöst worden war [64].

Der **Obere Burgsandstein** steht im Nürnberger Gebiet hauptsächlich im Gipfelbereich (der „Gritz“) und im Ostteil des Schmausenbucks an. Seine Mächtigkeit beträgt dort bis 30 m, wobei auf seinen rotvioletten, sandigen Basisletten rund 5 m bis 8 m entfallen. Petrographisch besteht der Obere Burgsandstein hauptsächlich aus rötlichen, mittel- bis grobkörnigen, oft kreuzgeschichteten Arkosesandsteinen. Bisweilen treten in den Sandsteinen Quarzgerölle bis 5 cm

Durchmesser und Windkanter auf. Das Bindemittel der Sandsteine ist häufig tonig; nicht selten kommt jedoch auch kieselige Matrix vor. So konnte URLICH [63] in der Waldabteilung „Schwarzlach“ nordöstlich von Fischbach großflächig eine sehr harte quarzitisches Sandsteinbank beobachten. In den alten Steinbrüchen am Schmausenbuck sind in den Oberen Burgsandstein zwei dezimetermächtige dolomitische Steinmergelbänke eingeschaltet.

Hydrologisch gelten die fein- bis grobkörnigen Burgsandsteine mit ihren Lettenzwischenlagen als produktive Aquifere, deren Grundwasserergiebigkeit weitgehend vom wasserwirksamen Kluftvolumen abhängt. Im Nürnberger Raum treten – neben dem Coburger Sandstein – vor allem in der Schichtenabfolge des Burgsandsteins häufig schwebende Grundwässer und Schichtquellen auf [54]. Diese Gegebenheiten sind bedingt durch den hydrologisch völlig heterogenen Aufbau der Sedimentabfolgen. Während die Sandsteinhorizonte des Burgsandsteins mit Gesteinsdurchlässigkeitsbeiwerten von 10^{-5} m/s bis 10^{-4} m/s („durchlässig“) gute Wasserbewegungen gestatten, treten in mehreren, oftmals nicht horizontbeständigen Schichtgliedern stark tonige Bestandteile auf, so dass hier die hydraulischen Leitfähigkeiten mit Durchlässigkeitsbeiwerten von 10^{-7} m/s bis 10^{-6} m/s („schwach durchlässig“) beträchtlich herabgesetzt sind. Insgesamt gesehen variieren die gemessenen Gesteinsdurchlässigkeitsbeiwerte der Schichtglieder des Coburger Sandsteins sowie des Unteren und Mittleren Burgsandsteins von 10^{-9} m/s bis 10^{-4} m/s [65].

Als hydrologische Besonderheiten treten im Nürnberger Becken neben den artesisch gespannten auch kohlendioxidreiche Grundwässer auf. Diese mancherorts aufsteigenden, CO_2 -reichen Tiefenwässer sind vorwiegend an tektonische Störungsbereiche gebunden [[55]; [127]] welche im Süden von Nürnberg auch durch hydrothermale Mineralisationszonen gekennzeichnet sind [66]. Vor allem die Wässer der Burgsandstein-Aquifere enthalten häufig beträchtliche Mengen an aggressiver Kohlensäure [52]. Der hierdurch bedingte karbonat- und metallaggressive sowie betonzerstörende Charakter der Grundwässer wurde bereits von SPÖCKER [50]



Abbildung 35: Charakteristische Letten-Zwischenlagen im Oberen Burgsandstein. Steinbruch am Worzeldorfer Berg (Südlicher Nürnberger Reichswald) (Foto: BAIER, GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)

erkannt und beschrieben: Die überwiegend sauren und karbonatarmen Grundwasserproben wiesen in 25 von 400 Fällen > 50 mg/l freies CO_2 auf. Die hydrochemische Beschaffenheit des Grundwassers kann sich jedoch innerhalb desselben Aquifers auf kurze Distanz stark verändern. So lagen gemessene CO_2 -Gehalte der Grundwässer im Bereich des heutigen Silbersee- und Silberbuck-Gebietes zwischen 0,8 mg/l und 66 mg/l [50].

Ein Einfluss tektonischer Störungen auf das Vorkommen kohlendioxidreicher Wässer wird sowohl im Quellwasser der mittelalterlichen „Buchenklänge“ am Schmausenbuck (65 mg/l CO_2 [54]) als auch an den aufsteigenden CO_2 -reichen Tiefenwässern entlang den geologisch jung entstandenen, tiefreichenden Bruchflächen des Rednitz-Regnitz-Talzugs angenommen [67].

Die Herkunft des „juvenilen“ Kohlendioxid ist aus dem rund 500 m unter der Erdoberfläche anstehenden Grundgebirge zu vermuten. Über tektonische Trennflächen wie Störungen und tiefreichende Kluftscharen findet das CO_2 seinen Weg bis in die oberen Keuper-Aquifere. Sein Aufstieg dürfte jedoch in den meisten Fällen stark gehemmt sein, da selbst tiefreichende Kluft- und Störungssysteme keine guten Wegsamkeiten bieten können. Auch die Ausbreitung durch die Kluft- und Porenräume der verschiedenen Aquifere, die physikalische Lösung des CO_2 im Grundwasser und dessen hierdurch aktiviertes Lösungsvermögen gegenüber mineralischen Stoffen vollzieht sich langsam und ist räumlich beschränkt [68].

Lockergesteinsschichten

Die Keuper-Festgesteine des „Nürnberger Beckens“ werden großräumig von fluviatilen und äolischen Lockergesteinen unterschiedlicher Mächtigkeit überdeckt. Diese Lockersedimente sind das Ergebnis einer vom Ende des Tertiärs ab erfolgten Temperatur-Abkühlung, die im Quartär zu einem zyklischen Klimagang mit ausgeprägten Wechseln von Kalt- und Warmzeiten geführt hat.

Die überwiegend geringmächtigen quartären Flugsande bedecken mehr als 60 % des gesamten Stadtgebietes [53]. Petrographisch bestehen die fein- bis mittelkörnigen Flugsande zu über 90 % aus gut abgerollten Quarzen, die aufgrund des fehlenden Bindemittels leicht beweglich sind. Vor allem im Reichswald treten bis 5 m hohe Dünen auf. Die quartären Sande stellen gut durchlässige Porengrundwasserleiter dar, wobei ihre Durchlässigkeitswerte zwischen 10^{-4} m/s und 5×10^{-3} m/s („durchlässig“ bis „stark durchlässig“) betragen [1].

Die holozänen Talfüllungen des heutigen Pegnitz- und Rednitztals bestehen überwiegend aus Grob- bis Feinsanden mit lehmigem Bindemittel. Die Ablagerung der auch heute noch bei Hochwässern überspülten, hydrologisch eng mit dem Vorfluter kommunizierenden Talsedimente wird von BRUNNACKER [69] in die Nacheiszeit (Postglazial) gestellt.

Neben den rezenten Flusstälern treten im Untergrund von Nürnberg mindestens vier unterschiedlich alte, tief in die

anstehenden Keuperschichten eingeschnittene Erosionstäler auf. Diese Talsysteme entstanden durch Ausräumungsphasen einer aus östlichen Richtungen dem „Moenodanuvius“ [70] und später der Ur-Rednitz zuströmenden Ur-Pegnitz. Sie lassen sich in vier unterschiedlich alte Haupttäler unterteilen, die sich vom Altpleistozän bis zur Mindel-Riß-Warmzeit bildeten [71]. Sowohl die heutigen als auch die fossilen Talsysteme sind im Nürnberger Becken bevorzugt am tektonischen Trennflächengefüge ausgerichtet. Vor allem die Flussumkehr des Rednitz-Main-Systems im Mittelpleistozän [72] belegt die andauernde tektonische Aktivität, welche durch Hebungsvorgänge der Südlichen Frankenalb bedingt war [73].

Die Nürnberger „Urtäler“ zeigen geomorphologisch Formen fluviatiler Erosion wie beispielsweise Gleit- und Prallhänge. Zur Zeit ihrer Entstehung waren sie Hauptentwässerungsadern, die von den umliegenden Hochgebieten her Seitenzuflüsse erhielten. Auf die Eintiefung eines Paläotales folgten mit Unterbrechungen Auffüllungsphasen.

Heute sind die Nürnberger Paläotäler tiefgründig mit sandig-kiesigen Lockersedimenten verfüllt, wobei die Lithologie der fluviatilen Lockersedimente die ständigen Wechsel von Warm- und Kaltzeiten im Quartär anzeigt. SPÖCKER [50] konnte in den Lockersedimentabfolgen der Paläotäler aller Erosionsphasen an der jeweiligen Basis mehrere Meter mächtige Wechsellagerungen von Schottern und Kiesen beobachten, welche er als „Grundsotter“ benannte. Diese setzen sich in den Paläotälern I und II nahezu ausschließlich aus Quarzschottern und -kiesen in sandiger Matrix zusammen, während in den Grundsottern der jüngeren Paläotäler neben den Quarzgeröllen hohe Anteile von Kalkschottern auftreten. Im Hangenden der Grundsotter folgen in allen Paläotälern sandig-kiesige Lockersedimente mit generell nach oben hin abnehmenden Korngrößen [74].

Diese Talfüllungen enthalten beträchtliche Grundwassermengen: So wurde beim Bau des Nürnberger Rhein-Main-Donau (RMD)-Kanals das verschüttete, rund 40 m in den Blasensandstein eingetiefte Paläotal I angefahren. Die hier durchteuften Sande und Kiese waren durchschnittlich bis 1 m unter Geländeoberkante mit Grundwasser erfüllt. Zur Grundwasserabsenkung mussten zwei Brunnenreihen quer zum Urtalverlauf angelegt werden; der hierbei gemessene Grundwasserzustrom betrug rund 120 l/s [49].

In den Paläotälern treten die ergiebigsten Grundwasservorräte des Stadtgebietes auf [1]. Die Rinnenstrukturen können eine Entwässerungswirkung für die Grundwasservorkommen der umgebenden Sandsteine haben. Die in den Nürnberger Paläotäler anstehenden Lockersedimente stellen generell gut durchlässige Porengrundwasserleiter dar. Die Durchlässigkeitswerte der Kiese und Sande betragen im Mittel 10^{-4} m/s bis 10^{-3} m/s [1]. Die hier vorliegenden hydrogeologischen Gegebenheiten wie hohe Durchlässigkeiten, gute Grundwasserhöflichkeit, überwiegend geringe Flurabstände sowie meist geringe Ionenfrachten stellen optimale Bedingungen zur Nutzung dieser Grundwasserkörper dar.

2.2. Das geohydraulische Verhalten des Nürnberger Untergrundes

(GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg – Dr. Manfred Bayer; Anna Prieß)

Die Geohydraulik (Grundwasserströmung) des Nürnberger Untergrundes wird durch die unterschiedlichen Gebirgseigenschaften der einzelnen Grundwasserstockwerke bestimmt.

Die Kenntnis der geohydraulischen Parameter ist entscheidend bei der Planung von Eingriffen in das Grundwasser sowie der Durchführung von Grundwasserprognosen im Zuge von Baumaßnahmen. Insbesondere die Transmissivität T (m^2/s), also die Durchlässigkeit des Gebirges, ist eine wichtige Kenngröße, die in nahezu alle einschlägigen geohydraulischen Berechnungsverfahren eingeht. In der Praxis wird in der Regel der Durchlässigkeitsbeiwert k_f (m/s) verwendet, also der Quotient aus Transmissivität und Aquifermächtigkeit. Um die charakteristischen Eigenschaften hydrogeologischer Systeme zu ermitteln, ist die Durchführung und Auswertung von hydraulischen Bohrlochversuchen gemäß DIN EN ISO 222 82 - 3 [10] unerlässlich. Dies gilt insbesondere bei der Planung von größeren baulichen Eingriffen in das Grundwasser.

Je nach Fragestellung werden Pumpversuche mit unterschiedlicher Versuchsdauer durchgeführt. So werden mit Kurzpumpversuchen die Aquifereigenschaften im unmittelbaren Umfeld des Pumpbrunnens erfasst. Mit Langzeitpumpversuchen erfolgt eher eine weiträumige Untersuchung des Grundwasserleiters (Aquifertest). Hierdurch sind auch Aussagen über Aufbau und die räumliche Ausdehnung des Aquifers möglich.

Als hydraulische Versuche im offenen Bohrloch sind sog. Auffüll- und Absenkversuche anzuführen. Deren Aussagekraft ist begrenzt und bleibt auf das unmittelbare Umfeld der Versuchsbohrung beschränkt.

Definierte Aquiferabschnitte können mit Hilfe von Packern im Bohrloch abgesperrt und mit geeigneten Versuchsaufbauten abgetestet werden (Wasserdurchlässigkeits (WD)-versuche, Ventil-Versuche als Slug-, Pulse- und Drill-Stem-Tests).

Wasserdurchlässigkeitsversuche werden gezielt im Tunnelbau (auch für die Nürnberger U-Bahn) eingesetzt, um die Wasserwegsamkeiten von Klüftzonen im Keupersandstein zu ermitteln.

Die Durchführung von hydraulischen Bohrlochversuchen setzt voraus, dass geeignete Versuchsbrunnen und Beobachtungspegel in ausreichendem Umfang und geeigneter Anordnung zur Verfügung stehen.

Der hydraulische Anschluss der Aufschlüsse an das abzulesende Grundwasserstockwerk ist durch einen qualifizierten Ausbau sicher zu stellen.

Dabei dürfen die Messstellen jeweils nur ein einziges Grundwasserstockwerk verfiltern. Der Ausbau von Bohrungen zu Mehrfach-Messstellen ist wegen der Gefahr von hydraulischen Kurzschlüssen unbedingt zu vermeiden.

Mit einer modernen Messausrüstung können bei Pumpversuchen die Daten von Wasserspiegel (Drucksonde), Fördermenge (Durchflussmesser), Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoff gleichzeitig digital erfasst und online überwacht werden (vgl. Abbildung 36).

Auf der Grundlage der digital erfassten Daten erfolgt die grafische Auswertung nach Typkurvenverfahren und Geradlinienverfahren. Neben der Ermittlung der Transmissivität und des Speicherkoeffizienten sind zusätzliche Aussagen über Brunnenverluste sowie Aufbau und die Begrenzung des Aquifers möglich.

Abbildung 36: Durchführung eines Pumpversuches mit messtechnischer Ausstattung (Foto: TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH)



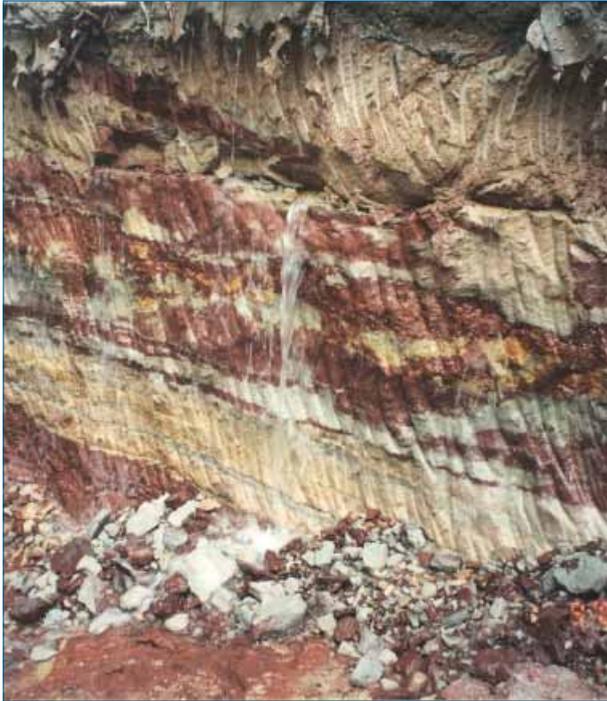


Abbildung 37: Offenes Kluftsystem mit Wasseraustritten an der Schichtgrenze Blasensandstein / Lehrbergschichten (IMAX-Baugrube, Nürnberg, 2000, Foto: TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH)



Abbildung 38: Wasseraustritt über „Quacken“horizont aus Klüften im Blasensandstein (U-Bahnbau Nürnberg / bergmännischer Vortrieb) (Foto: TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH)

Für das Grundwasserstockwerk Ia / Quartäre Sande und Kiese, das sich als +/- homogener Porengrundwasserleiter darstellt, liefern derartige Versuche i.d. Regel hinreichend genaue und belastbare geohydraulische Kenndaten. Die bei Bauwasserhaltungen zu erwartenden hohen Ergiebigkeiten und Reichweiten der Absenkung, lassen sich damit rechnerisch gut prognostizieren.

Bei dem Grundwasserstockwerk Ib / Sandsteinkeuper handelt es sich um einen Kluft- und Porengrundwasserleiter, wobei die hydrogeologischen Eigenschaften eines Kluftgrundwasserleiters überwiegen. Grundwasserbewegungen sind vornehmlich an Trennflächen, Fugen und Klüfte gebunden.

Im Sandsteinkeuper hängen Durchlässigkeit und Ergiebigkeit stark von der Ausbildung des Kluftnetzes ab. Grundsätzlich ist eher mit einer mäßigen Ergiebigkeit zu rechnen. Wie Beobachtungen aus tiefen Nürnberger Baugruben und dem U-Bahn-Bau zeigen, sind an Kluftverschneidungen aber auch lokal hohe Grundwasserergiebigkeiten von > 10 l/s möglich. Ein hoher Grundwasserandrang ergab sich bspw. auch in der ca. 35 m tiefen Baugrube für das IMAX-Kino. An der Schichtgrenze Blasensandstein / Lehrbergschichten wurde ein offenes Kluftsystem mit Ergiebigkeiten von > 100 l/s angeschnitten.

Aufgrund der Heterogenität des Sandsteinkeupers liefern rechnerische Grundwasserprognosen hier meist nur überschlägige Ergebnisse. Die tatsächlich durch Grundwasser-eingriffe erzeugten Reichweiten der Absenkung weichen oftmals von den Prognosen ab.

Ein aussagekräftiges Grundwasser-Monitoring zur hydrologischen Beweissicherung erscheint daher unerlässlich, um die tatsächlichen Auswirkungen von baulichen Eingriffen in das Grundwasser festzuhalten.

Im Nürnberger U-Bahnbau kann diesbezüglich auf Jahrzehnte lange Erfahrungen zurückgegriffen werden. Beim Auffahren der Tunnelstrecken im Keupersandstein sind in Abhängigkeit von der Tiefengradiente Reichweiten der Entnahme von etwa 50 bis 150 m beidseitig der Tunnelstrecke zu erwarten.

2.3. Die Bedeutung der quartären Lockersedimente

2.3.1. Vorkommen und Bedeutung der quartären Deckschichten

(GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg – Michael Wehrl)



Abbildung 39: Düne im nordöstlichen Stadtgebiet (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

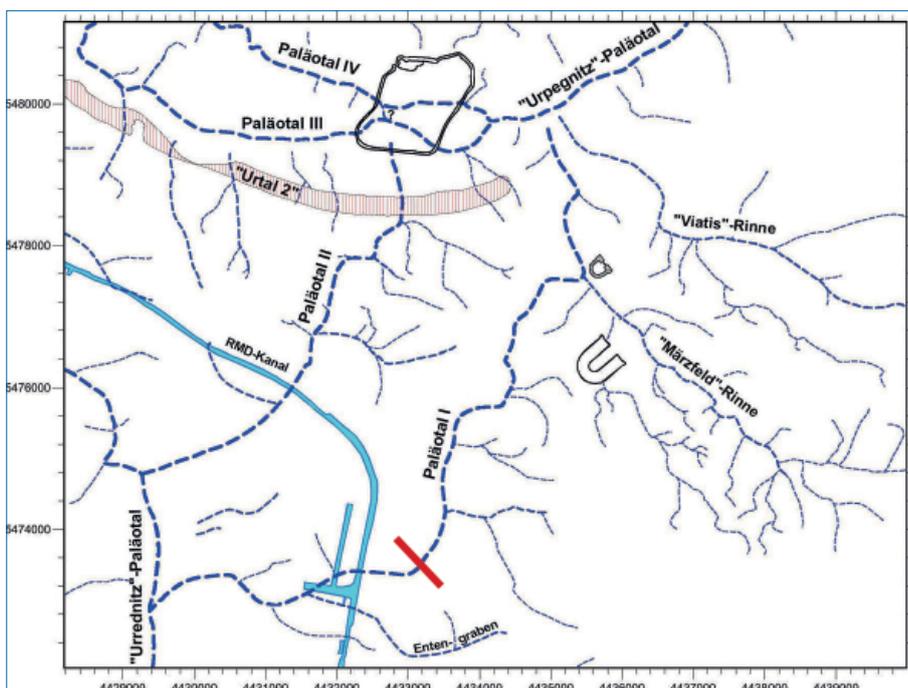
Nürnberg's berühmte Altstadt ist aus Sandstein gebaut, das ist jedem Bewohner und Besucher dieser Stadt bekannt. Weniger bekannt ist, dass Nürnberg zu guten Teilen auch auf Sand gebaut ist. Dieser Sand kann über 30 Meter mächtige Lagen bilden. Diese gewaltigen Sandmassen wurden vor Tausenden Jahren in gewaltigen Flüssen und durch starke Winde ins Nürnberger Becken geschüttet. Weil diese Sandschichten in dem geologischen Zeitalter des Quartärs entstanden und sie den Felsuntergrund bedecken, werden sie als quartäre Deckschichten bezeichnet. Auf die genaue Entstehung soll nun im Folgenden näher eingegangen werden.

Die Flugsande im Nürnberger Becken

Die Winde haben Dünen aufgeschichtet, wie sie heute nur von der Küste oder aus Wüsten bekannt sind. Einen Eindruck davon vermittelt noch eine Düne, die im Wald hinter dem Gewerbepark Nordostpark, im Nürnberger Nordosten zu sehen ist.

Die Flugsande bilden mehr oder weniger geschlossene Decken, deren genaue Abgrenzung aber wegen ihrer Vermischung mit den Flusssanden und den sandigen Keuperverwitterungen nicht leicht möglich ist. Im Gebiet, in dem auch die in Abbildung 39 gezeigte Düne zu finden ist, sind auch weitere Dünen zu finden. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Dünen durch Winde aufgehäuft wurden, die aus westlichen Richtungen wehten [51].

Karte 3: Karte der Paläotäler unter Nürnberg nach BAIER (2011) mit eingezeichneter Profilinie (rot) (Quelle: BAIER, A.; Verändert von WEHRL, M.)



Die Flugsande im Nürnberger Becken

Die Flugsande haben gegenüber den Flusssanden eine nur untergeordnete Bedeutung. Das liegt daran, dass die Flusssande deutlich größere Mächtigkeiten aufweisen. Die Flusssande wurden durch Flüsse angehäuft, die in den Abtauzeiten der Eiszeit gewaltige Sedimentmengen transportierten. Diese Flüsse schnitten tiefe Täler in den Nürnberger Sandstein und füllten diese mit Sand und Kies wieder auf [71]. Dieser Sachverhalt wurde bereits sehr intensiv von A. BAIER untersucht, der eine Karte dieser, heute nicht mehr sichtbaren, Täler erstellt hat [71].

Wie aus der Karte 3 ersichtlich ist, durchziehen verschiedene Täler das südliche Nürnberger Stadtgebiet. Zur Veranschaulichung soll ein Profil (Abbildung 40) im Nürnberger Süden, in der Karte 3 durch eine rote Linie markiert, die Ausmaße dieser Paläotäler darstellen.

In diesem südlichen Bereich weisen die quartären Deckschichten in Form von Talfüllungen besonders hohe Mächtigkeiten auf. Eindrucksvoll zeigt dies das Profil in Abbildung 40. Die gelbe Signatur zeigt die quartären Schichten im Paläotal 1, die dort eine Mindestmächtigkeit von 16 Metern aufweisen.

Die Bedeutung der quartären Deckschichten

Diese Deckschichten haben in Nürnberg also eine sehr große Verbreitung. Das allein rechtfertigt aber noch nicht den Aufwand, der für ihre Untersuchung betrieben wird. Bereits im Jahre 1964 begann ihre erste größere Erfassung [50]. Heute beschäftigen sich unter anderem das Umweltamt der Stadt Nürnberg, das Landesamt für Umwelt und die Universität Erlangen mit diesem Thema. Schon im letzten Grundwasserbericht wurden die Karten von SPÖCKER [50] durch Untersuchungen von BAIER [71] und anderen ergänzt. Auch diese Ergebnisse werden in aktuellen Projekten erweitert und aktualisiert.

Die Kenntnis der quartären Deckschichten ist ein wichtiger Planungsfaktor. Für die Planung von Bauwerken ist es wichtig zu wissen, ob sich im Untergrund des geplanten Bauwerks solider Fels oder Sand befindet. Wird das nicht berücksichtigt, so können Setzungen und daraus folgende Schäden am Gebäude die Folge sein.

Auch für die Nutzung von oberflächennaher Geothermie mit offenen Systemen (Grundwasserentnahme und Rückführung über Schluckbrunnen) ist der Verlauf dieser Rinnensysteme von großer Bedeutung.

Dabei helfen die sehr guten hydraulischen Kennwerte von Sand sehr. In sandigem Boden kann leichter mehr Wasser gefördert werden und es auch viel leichter wieder versickert werden.

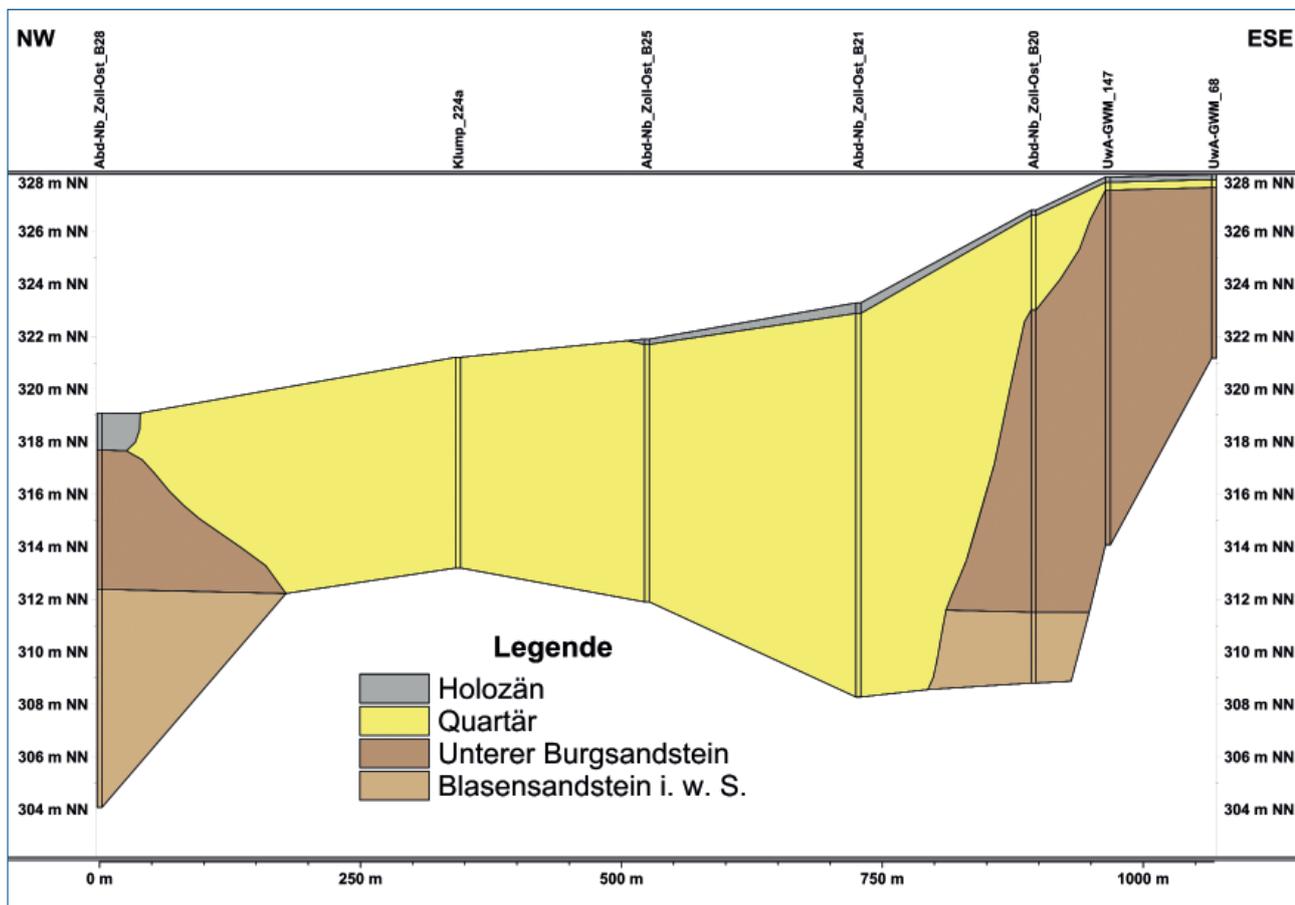


Abbildung 40: Profil über das Paläotal 1 (Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg - WEHRL, M.)

Dieses Prinzip gilt natürlich ebenso für alle anderen Arten von Brunnen, wie etwa Bewässerungsbrunnen. Auch diese können viel effektiver arbeiten, wenn sie im sandigen Untergrund abgeteuft werden.

Diese Rinnen haben zudem einen lokalen Effekt auf die Grundwasserfließrichtung. Da die hydraulischen Eigenschaften in der Rinne besser sind als in den umgebenden Sandsteinen wirken die Paläotäler wie Drainagesysteme. Sollte es zu einem Schadensfall für das Grundwasser kommen, könnten in diesen Rinnen die Schadstoffe schneller verbreitet werden. Auch deswegen ist die genaue Kenntnis des Verlaufs wichtig.

Deckschichten dienen in der Regel auch als Schutzschicht für den Schadstoffeintrag aus der Oberfläche zum Grund-

wasser hin. Da die Durchlässigkeitsbeiwerte der sandigen Deckschichten in Nürnberg recht hoch sind, können Schadstoffe jedoch ohne große Widerstände ins Grundwasser gelangen.

Die Durchlässigkeitsbeiwerte bedeuten auch ein hohes Versickerungspotential für Niederschläge in unbebauten Gebieten.

Quartärmächtigkeitkarte

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Deckschichten unter Nürnberg sowohl einen Vor- wie auch einen Nachteil darstellen können. In jedem Fall ist es nötig ihre Verbreitung möglichst genau zu erfassen. Die aktuellsten Ergebnisse können der Deckschichtenkarte in diesem Grundwasserbericht entnommen werden (Anlage C).

2.3.2. Das Quartär im Bereich des Pegnitztals bei Erlenstegen (N-ERGIE Aktiengesellschaft – Philipp Goodwyn)

Quartäre, verschüttete Rinnen erstrecken sich über weite Bereiche des Nürnberger Stadtgebietes. Im Bereich Erlenstegen wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts eine Trinkwassergewinnung der heutigen N-ERGIE Aktiengesellschaft aufgrund der günstigen hydrogeologischen Eigenschaften solcher verschütteter Talräume mit relativ locker gelagerten Sedimenten im Pegnitztal etabliert. Diese bilden einen sehr ergiebigen Grundwasserkörper (Aquifer) und ermöglichen letztendlich die Gewinnung von Grundwasser als Trinkwasser innerhalb des Nürnberger Stadtgebietes [[75]; [50]].

Da die quartären Rinnen anhand der heutigen Topographie nicht mehr erkennbar sind, konnte deren Mächtigkeit und Lage bislang nur durch vereinzelte Bohrungen und Aufschlüsse rekonstruiert werden. Aktuelle Untersuchungen aus 2016 [76] mit geophysikalischen Methoden trugen dazu bei, die Situation im Gewinnungsgebiet des Wasserschutzgebietes Erlenstegen detaillierter zu beschreiben.

Aufgrund der abweichenden physikalischen Eigenschaften des quartären Lockermaterials im Vergleich zum darunter anstehenden Blasensandstein eignen sich geophysikalische Methoden gut für die Erkundung [77]. Im Rahmen der Untersuchungen kamen mit dem Georadar, der Refraktionsseismik und der geoelektrischen Tomographie insgesamt drei verschiedene Methoden zum Einsatz, um den Bereich detailliert zu erkunden.

Zusätzliche Erkenntnisse brachte vor allem der Einsatz des Georadars. Hier konnte die Grenze zwischen quartären Auflagen und Blasensandstein (Aquiferbasisgrenze) anhand abnehmender Signalstärke detektiert werden. Mit den bereits verfügbaren Daten der Bohrungen wurden die geophysikalischen Ergebnisse punktuell überprüft und größtenteils bestätigt. Die Tiefe der Aquiferbasisgrenze weist insgesamt einen großen Schwankungsbereich auf und beträgt zwischen Minimum 9,30 m und Maximum 16,30 m.

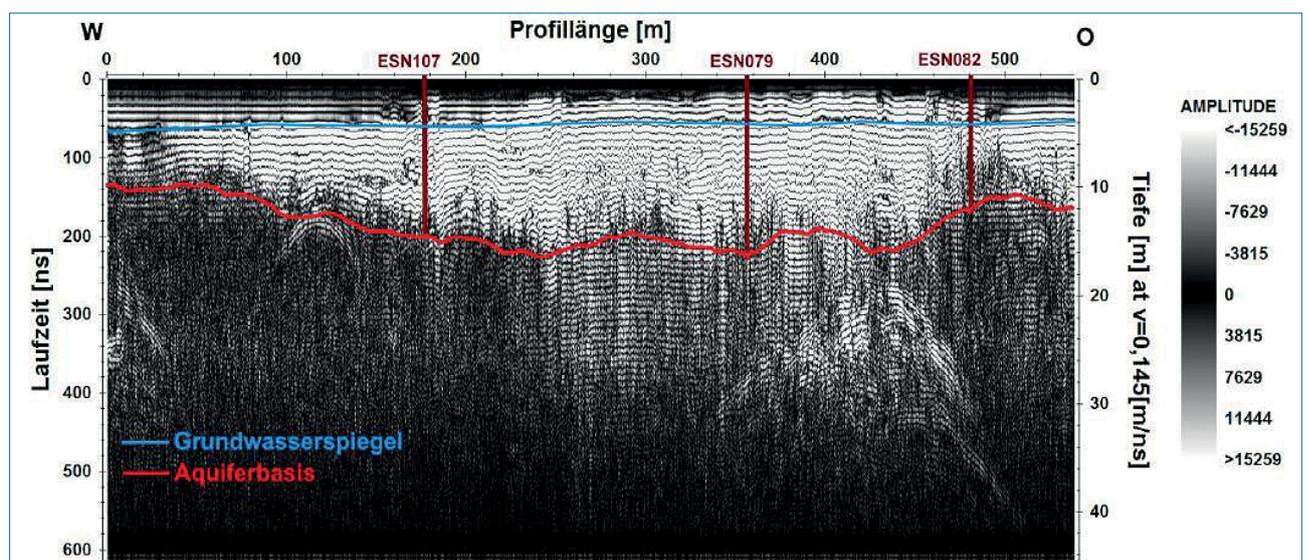


Abbildung 41: Ausgewertetes Georadarprofil im Fassungsgebiet des Wasserschutzgebiet Erlenstegen mit Interpretation der quartären Aquiferbasis (Quelle: N-ERGIE AG - GOODWYN, P.)

2. Hydrogeologie und Wasserhaushalt

Die Resultate zeigen, dass die Tiefenlage der quartären Aquiferbasis bereits auf geringe Entfernung horizontal stark variieren kann.

Aus den in einem Raster angeordneten Profilen wurden über 800 neue Datenpunkte mit Informationen über die Höhe der Aquiferbasis ü. NN entnommen und die Aquiferbasis mithilfe von Geoinformationssystemen als Oberfläche interpoliert. Insgesamt befindet sich die Aquiferbasis im Untersuchungsgebiet zwischen 287,7 m ü. NN und 292,6 m ü. NN. Gegenüber dem Modell der Grenze zwischen quartärem Lockergestein und anstehendem Keupergestein, das rein auf Basis von Bohrdaten interpoliert wurde, gab es im Modell mit geophysikalischen Daten zum Teil Lageabweichungen von bis zu 4,20 m.

Mithilfe der geophysikalischen Untersuchungen im Bereich der östlich des Wasserwerkes Erlenstegen liegenden Brunnen konnten mehrere Erkenntnisse gewonnen werden. In erster Linie wirkten sich quartäre Erosions- und Sedimentationsereignisse entscheidend auf die Morphologie der Rinne im Untergrund aus. Im Untersuchungsgebiet konnte nahe des Wasserwerkes Erlenstegen ein Erosions- bzw. Rinnentief entdeckt werden, das sich bzgl. der Höhe ü. NN von der umgebenden Aquiferbasis signifikant unterscheidet. Derartige Strukturen können ausschlaggebend für eine Änderung der Fließverhältnisse im Untergrund sein.

Hier spielt wiederum die Materialzusammensetzung eine wichtige Rolle: In den tieferen Lagen, unmittelbar an der Grenze zum Festgestein, lagerten sich beim Übergang von Warm- zu Kaltzeiten, d.h. am Beginn eines Ablagerungszyklus, zuerst grobes Material wie Steine und Kiese ab. Hier kann Grundwasser aufgrund der größeren Porenvolumina ungehinderter fließen. Die Kenntnis über die Lage des Rinnentiefs und die Rückschlüsse auf die Materialzusammensetzung können künftig bei der Standortwahl für Brunnenneubohrungen und Brunnensanierungen helfen. Bei Sanierungsplanungen sollten demnach solche Brunnen priorisiert werden, die im Bereich des Rinnentiefs liegen. Die Resultate über quartäre verschüttete Rinnen haben somit nicht nur wissenschaftliche Bedeutung, sondern liefern auch für die Praxis wichtige Erkenntnisse, da sie für den Unterhalt und die langfristige Sicherstellung der Trinkwasserversorgung im Stadtgebiet Nürnberg Entscheidungshilfen darstellen.

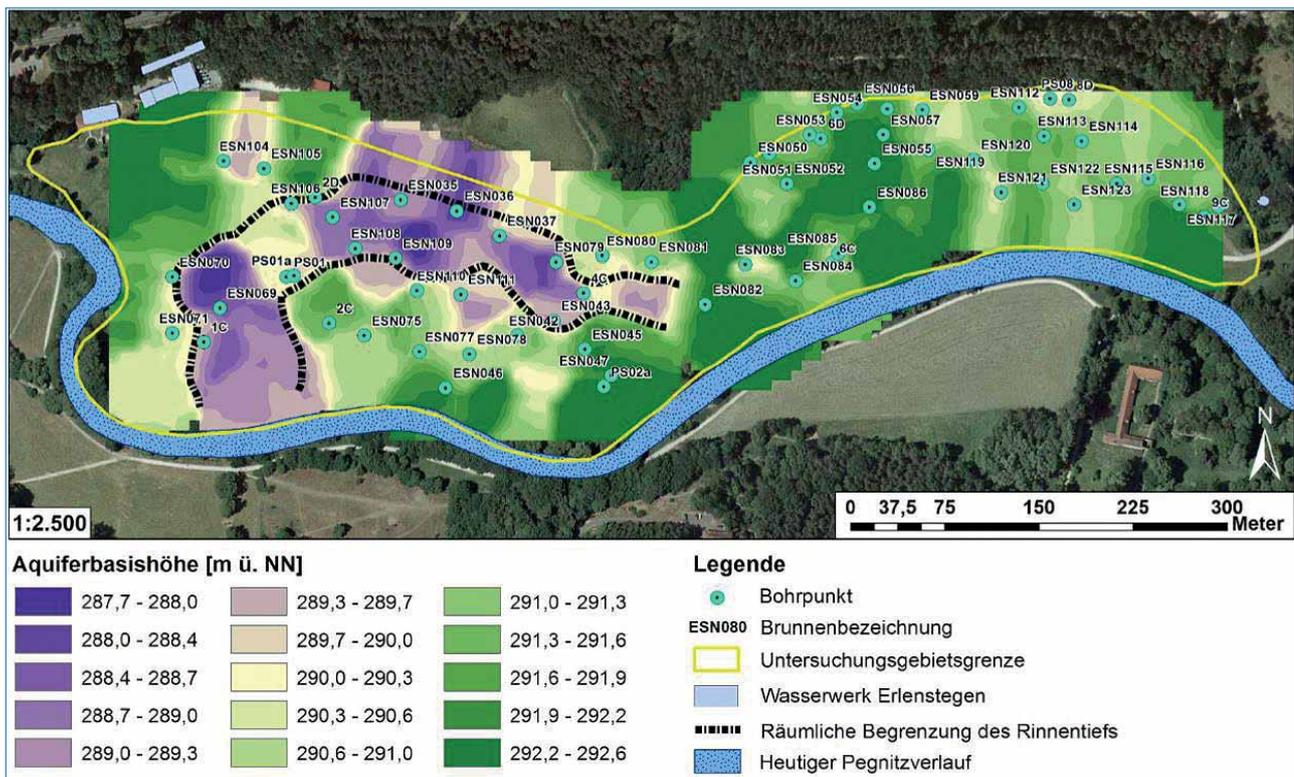


Abbildung 42: Visualisierung der Aquiferbasishöhe im Fassungsgebiet des Wasserwerk Erlenstegen mit eingezeichnetem Rinnentief (Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung; Wasserdaten: © N-ERGIE Aktiengesellschaft; (Quelle: GOODWYN, P.))

2.4. Wasserhaushalt

2.4.1. Urbaner Wasserhaushalt

Der natürliche Wasserhaushalt besteht im Wesentlichen aus drei Hauptkomponenten: Niederschlag, ober- und unterirdischer Abfluss sowie Verdunstung (vgl. Tabelle 7).

Wie viel vom Niederschlagswasser im Jahresvergleich von Grundstücken oberirdisch abfließt, wie viel versickert und wieviel verdunstet, ist sehr abhängig von der Ausprägung der Bodenoberfläche (Untergrundgestein und Bodentyp, Bewuchs, Versiegelung, Neigung etc. vgl. Kapitel 2.4.3.).

Der urbane Wasserhaushalt weicht in vielen Punkten vom natürlichen Wasserhaushalt ab. Die wichtigsten Veränderungen im Stadtgebiet Nürnberg sind:

- Eine kleine Ergänzung auf der „Haben“-Seite der Wasserhaushaltsgleichung durch die Wasserbeileitung zur Bewässerung im Knoblauchsland (vgl. Kapitel 1.5.).
- Ein Anstieg des oberirdischen Abflusses um ein Vielfaches durch Bebauung und Versiegelung. Damit gehen eine reduzierte Grundwasserneubildung und eine reduzierte Verdunstung einher (vgl. Kapitel 2.4.3.).

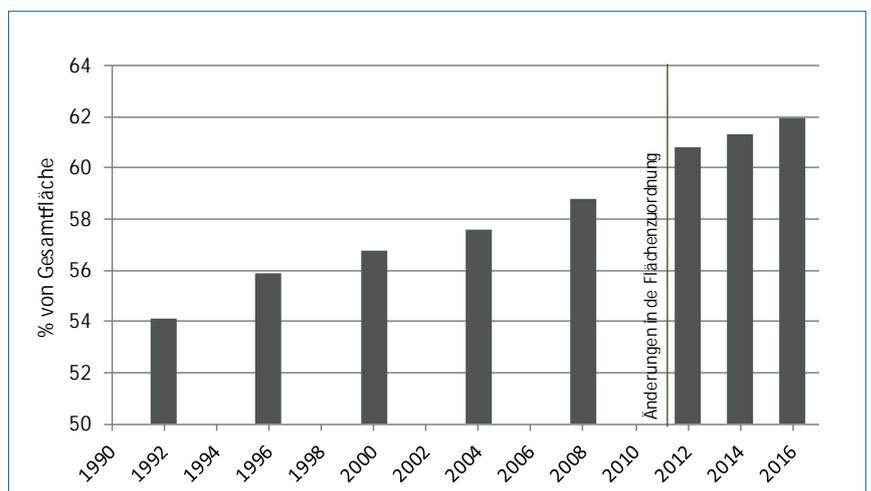
Einzelne Komponenten des Wasserhaushalts für das Stadtgebiet wurden bereits im Grundwasserbericht 2011 beschrieben [1]. Erstmals wird mit dem vorliegenden Grundwasserbericht eine Wasserbilanz für Nürnberg vorgestellt, die u. a. die unterschiedliche Bebauung im Stadtgebiet im Einzelnen berücksichtigt und die Veränderungen relevanter Einflussgrößen ermittelt (vgl. Kapitel 2.4.3.).

Die Bedeutung eines ausgeglichenen Wasserhaushalts wird in vielen Facetten bereits im Kapitel 1 deutlich. Die wasserwirtschaftlichen und gesundheitlichen Anforderungen an den städtischen Wasserhaushalt werden in der Zukunft noch verstärkt durch die Folgen des Klimawandels (vgl. Kapitel 1.3.). Diese Aufgabe stellt eine große Herausforderung dar, denn die Versiegelung bislang unversiegelter Flächen durch Ausweisung neuer Baugebiete nimmt im Stadtgebiet stetig weiter zu (vgl. Abbildung 43).

Niederschlag	=	Abfluss oberirdisch	+	Abfluss unterirdisch	+	Verdunstung
Niederschlag:		Er variiert bei den Jahressummen und im Jahresverlauf sehr stark. Die Niederschlagsdaten der letzten 35 Jahre werden zusammenfassend unter Kapitel 2.4.2. dargestellt.				
Abfluss oberirdisch:		Es handelt sich hierbei um den Niederschlagswasseranteil, der nach einem Niederschlagsereignis durch direkten Abfluss von der Geländeoberfläche in die Fließgewässer oder die Kanalisation gelangt und letztendlich über die Pegnitz das Stadtgebiet verlässt.				
Abfluss unterirdisch:		Es ist das über den Boden versickernde Niederschlagswasser, das den Grundwasserkörper speist.				
Verdunstung:		Niederschlagswasser verdunstet verstärkt in den Sommermonaten und in dieser Zeit überwiegend über die Vegetation (= Transpiration). Verdunstung erfolgt außerdem direkt über die Oberflächen, auf die der Niederschlag fällt (Evaporation).				

Tabelle 7: Übersicht der Faktoren des natürlichen Wasserhaushaltes

Abbildung 43: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen im Stadtgebiet Nürnberg; Auswertung der statistischen Jahrbücher der Stadt Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



2.4.2. Niederschlagsdaten in Nürnberg

Entwicklung des Niederschlags in Nürnberg an der Flugwetterwarte

Bedingt durch ein Niederschlagshoch in den 80er Jahren, d.h. zu Beginn der betrachteten Zeitreihe (Abbildung 44), ist über den langjährigen Zeitraum von 1981 bis 2016 ein insgesamt negativer Trend bei den Jahresniederschlägen an der Flugwetterwarte Nürnberg zu verzeichnen. Nach einem Rückgang der Niederschläge Ende der 80er Jahre liegt ab den 90er Jahren die, über 25 Jahre gemittelte, Jahresniederschlagsmenge bei ca. 612 mm (1992-2016) im hydrologischen Jahr (November - Oktober).

Die Jahresniederschlagshöhen im hydrologischen Jahr nahmen im Trend zunächst, trotz einem Tief zwischen 2003 und 2006, insgesamt von 1991 bis 2011 um 10,8 % zu. Seither nehmen die Jahresniederschläge wieder ab. Dabei fallen besonders der extrem trockene Sommer 2015 sowie die trockenen Winterhalbjahre (2013/2014 und 2014/2015) ins Gewicht (Abbildung 44).

In den Sommermonaten ist bei den Niederschlagsmengen ab 1991, trotz der trockenen Sommer 2003 und 2015, ein positiver Trend zu beobachten. Besonders die Sommermonate zwischen 2007 und 2014 waren verhältnismäßig niederschlagsreich.

Niederschlagsverteilung im Stadtgebiet

Ein flächendeckender Überblick über die Niederschlagsverteilung im Stadtgebiet wurde durch ein, seit 2009 / 2011 von der Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN) eingerichtetes, Netz von 13 Regenschreibern ermöglicht [36].

Die Auswertung der SUN-Regenschreiber brachte dazu folgende Ergebnisse:

- An der Flugwetterwarte werden verhältnismäßig niedrige Niederschlagswerte innerhalb des Stadtgebietes erfasst.
Im Vergleich zur Flugwetterwarte werden bei der, in ca. 1,5 km Entfernung gelegenen Messstelle von SUN („Buch“) durchschnittlich um 35 mm höhere Jahresniederschlagsmengen gemessen (-14 mm bis +78 mm).
Ursache hierfür können zum einen eine unterschiedliche Messmethodik, zum anderen aber auch die naturräumlichen Rahmenbedingungen der unterschiedlichen Standorte sein.
- Der Osten Nürnbergs ist regenreicher als der Westen. So liegt das Maximum des 7-jährlichen Mittelwertes der Jahresniederschläge (2011 bis 2016) mit 705 mm in Erlenstegen / Mögeldorf und das Minimum mit 570 mm in Reichelsdorf.
- Die häufigsten und / oder stärksten Starkniederschläge (≥ 60 mm/Tag) waren im oberen Pegnitztal Schoppershof und Mögeldorf / Erlenstegen und weiter das Pegnitztal abwärts in Sündersbühl zu verzeichnen (zwischen 2011 und 2016 max. an 10 Tagen Tagesniederschläge ≥ 30 mm/d bzw. an zwei Tagen ≥ 60 mm/d, Maximalwert: 89,7 mm/Tag)
- Am geringsten belastet durch Starkniederschlagsereignisse waren zwischen 2011 und 2016 die Stadtteile Reichelsdorf und Worzeldorf, gefolgt von Buch.

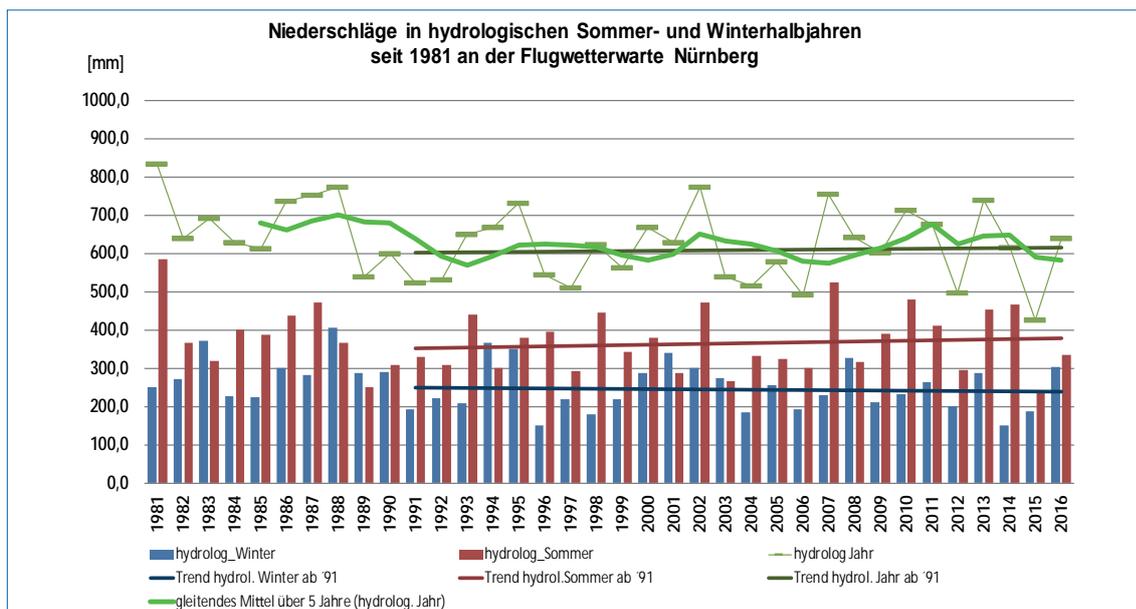


Abbildung 44: Niederschläge in hydrogeologischen Sommer- und Winterhalbjahren seit 1981 an der Flugwetterwarte Nürnberg (Datengrundlage: Werte des Deutschen Wetterdienstes DWD); Beginn hydrogeologisches Jahr / hydrogeologischer Winter: 1. November, Beginn hydrogeologischer Sommer: 1. Mai (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

2.4.3. Daten zum Wasserhaushalt in Nürnberg – lokale Wasserbilanz

(Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Wassertechnologie – Prof. Dr.-Ing. Frank R. Kolb)

Unterschiedliche urbane Flächennutzungen führen zu nachhaltigen Veränderungen im lokalen Wasserhaushalt, wobei diese zumeist mit einem verminderten Rückhalt (Interzeption) der Niederschläge und einer niedrigeren Verdunstung (Transpiration) durch den geringen bzw. fehlenden Bodenbewuchs sowie einer reduzierten Einsickerungsrate (Infiltration) in den versiegelten Boden verbunden sind. Je nach Intensität der baulichen Nutzung variiert der Versiegelungsgrad in urbanen Gebieten, welches zu erhöhten Oberflächenabflüssen und / oder zu geringeren Anreicherungen des Grundwassers durch Niederschläge führen kann. Aber auch die Zusammensetzung des städtischen Grüns sowie die stadthydrologischen Lösungen haben einen merklichen Einfluss auf den Wasserhaushalt.

Die Flächenstruktur im städtischen Bereich kann je nach Verfestigung in drei große Teilbereiche gegliedert werden:

- Vollversiegelung, z. B. durch Bebauung und Verkehrsinfrastruktur,
- Teilversiegelung, z. B. durch Bebauung und Individualinfrastruktur und
- Untergrundversiegelung, z. B. Ver- und Entsorgungsinfrastruktur.

Diese Flächenstrukturen können je nach wasserwirtschaftlichem Funktionserhalt des Bodens in Abhängigkeit des Nutzungstyps im kleinräumigen Maßstab durch den prozentualen Versiegelungsgrad und im großräumigen Maßstab durch unterschiedliche Kennzahlen (vgl. Tabelle 8) beschrieben werden [78].

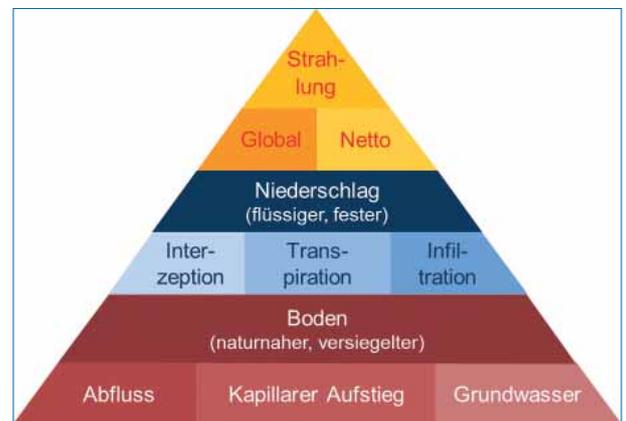


Abbildung 45: Vereinfachtes Modell des Wasserhaushalts (Quelle: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Wassertechnologie, KOLB, F. R.)

Typ	Kenngröße	Funktionsbeschreibung
Boden, Versiegelung, Versickerung, Oberflächenmaterial	Versiegelungsgrad [79]	Der Versiegelungsgrad (VG) gibt den prozentualen Anteil der versiegelten Fläche zur gesamt betrachteten Fläche an. In einer modifizierten Form werden die Teilflächen nach ihrer Durchlässigkeit gewichtet.
	Versiegelungszahl [80]	Die Versiegelungszahl (VZ) stellt einen Faktor dar, der in integrativer Weise eine Gewichtung von städtischen Flächen in Bezug auf z. B. Stadtklima, Grundwasserneubildung, Wohnqualität usw. wiedergibt.
	Bodenfunktionszahl [81]	Die Bodenfunktionszahl (BFZ) gibt neben der Versiegelung auch noch das Versickerungsverhalten mit an, so dass z. B. die klimatische Wirkung von Dachbegrünung und Wasserflächen mitberücksichtigt wird.
	Biotopflächenfaktor [82]	Der Biotopflächenfaktor (BFF) ist der Quotient aus der Biotopfläche (d. h. der naturhaushalt-wirksamen Fläche) zur Grundstücksfläche, wodurch gleichzeitig die Quantität von qualitativ ökologisch wirksamen Flächen bestimmt werden kann.
	KÖH-Wert [83]	Der Klimatisch-Ökologisch-Hygienische Wert (KÖH) berechnet sich aus dem Verhältnis von Gunstflächen zu versiegelten Ungunstflächen, wobei die ersteren bewertete Vegetationsflächen darstellen.
	KÖP-Kennwert [84]	Der Klimaökologisch-Pedologische Kennwert (KÖP) bewertet Oberflächenmaterialien entsprechend ihrem Versickerungsverhalten, dem Verhältnis von Vegetations- zu Baumasse sowie dem Klimatopwert.

Tabelle 8: Unvollständige Übersicht und Kurzdefinition von Kenngrößen zur Beschreibung der Wirkungsweise von urbanen Flächen

2. Hydrogeologie und Wasserhaushalt

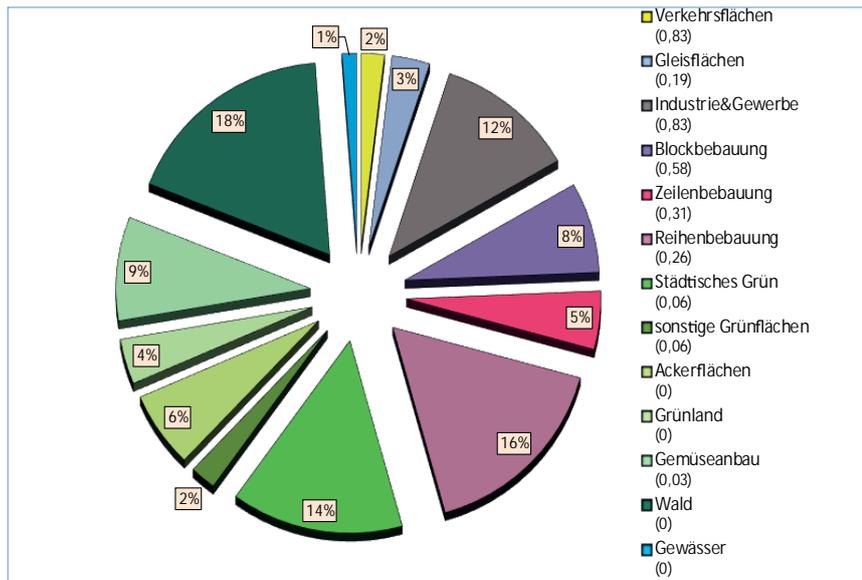


Abbildung 46: Mittlere Oberflächenabflussbeiwerte (Zahlenwert) und prozentuale Flächenverteilung nach Nutzungsarten für das Stadtgebiet Nürnberg (berechnet auf Datenbasis von: BEYER, 2015 [86], modifiziert)
(Quelle: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Wassertechnologie, KOLB, F. R.)

Für die Ermittlung der wasserwirtschaftlichen Bilanz der Stadt Nürnberg in Bezug auf die drei Teilgrößen Oberflächenabfluss, Versickerung und Verdunstung wurde der Versiegelungsgrad der unterschiedlichen Flächennutzungstypen aus vorhandenen Datenbeständen [85] berücksichtigt. Für die Bestimmung des Oberflächenabflusses ist weiterhin der Abflussbeiwert (vgl. Abbildung 46), der u. a. durch die topografischen, klimatischen und hydrogeologischen Merkmale eines urbanen Gebietes beeinflusst wird, auf Basis von digitalen Geländemodellen Nürnbergs, bestehenden Datenbeständen sowie mittels technischer Regelwerke ermittelt worden.

Der Versickerungsanteil wird durch einen Teil der Niederschläge, die mittels Versickerungsanlagen dem Grundwasser zugeführt werden, und durch die Bewässerung in den Sommermonaten für den Gemüseanbau erhöht. Der Bewässerungswasseranteil kann nicht vollständig durch die Pflanzen aufgenommen werden, so dass ein Teil des Wassers den Boden infiltriert. Da der überwiegende Teil der Grundwasserneubildung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Winterhalbjahr erfolgt, führen diese Bewässerungsanteile zu keinen großen Veränderungen im Grundwasserhaushalt.

Die durch die Pflanzen aufgenommenen Wasseranteile erhöhen den Transpirationsanteil der in die Atmosphäre abge-

ben werden kann. Diese Anteile spiegeln sich entsprechend in der wasserwirtschaftlichen Bilanz für Nürnberg wider.

Für die Verdunstungsanteile war eine Unterteilung in die Evaporation (Verdunstung von Oberflächen) und die Transpiration (Verdunstung von Pflanzen) nicht möglich, so dass diese Anteile in der Evapotranspiration zusammengezogen sind. Der Transpirationsanteil kann durch die Entsiegelung von Oberflächen, durch innovative Bau- sowie neuartige Wasserkonzepte und die Zusammensetzung des „Städtischen Grüns“ erhöht und so das Stadtklima weiter verbessert werden. Die aktuellen Randbedingungen in Nürnberg führen dazu, dass mehr als ein Fünftel der gesamten Wasserbilanz aufgrund des oberflächigen Abflusses durch das Ableitungssystem der Metropolregion abgeführt wird.

Etwas weniger als ein Fünftel der Niederschläge dient durch die Versickerung zur Grundwasseranreicherung und die restlichen drei Fünftel der Niederschläge können überwiegend über die aktive Verdunstung von Pflanzen wieder der Atmosphäre zugeführt werden. Weitergehende zukünftige Wasserkonzepte und infrastrukturelle Maßnahmen sollten dazu genutzt werden, die Versickerungs- und Verdunstungsanteile an den Niederschlägen zu erhöhen, um die klimatischen Randbedingungen im urbanen Gebiet Nürnberg weiter zu verbessern.

Wasserressourcen		Wasseranteile	Oberflächenabfluss	Versickerung	Evapotranspiration
Niederschlag (im Mittel)	m³/a	121.148.107	29.092.437	22.870.074	69.185.597
Bewässerungsanteil*	m³/a	1.900.000	29.092.437	23.174.074	70.781.597
Versickerungsanteil**	m³/a	1.185.006	27.907.431	24.122.079	71.018.598
Bilanzanteile	mm/a	663,3	150,7	130,2	382,4
Bilanzanteile	%	100	22,7	19,6	57,7

Tabelle 9 Wasserbilanz für die Stadt Nürnberg (Datenquelle: BEYER, 2015 [86], modifiziert); * Gemüseanbau, ** Oberflächenversickerung

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

3.1. Grundwasserqualität

3.1.1. Grundwasserbelastungen im Stadtgebiet - nutzungsspezifische Schadstoffeinträge

Nürnberg ist und war ein wichtiger, erfolgreicher Industriestandort. Die Wirtschaftsstruktur Nürnbergs war seit Beginn der Industrialisierung durch Betriebe des metallbe- und verarbeitenden Gewerbes geprägt. In vielen auch kleineren Betrieben, wie z.B. Galvaniken oder Chemischen Reinigungen wurde über Jahrzehnte mit umweltgefährdenden Stoffen zum Teil sorglos umgegangen. So kam es zu zahlreichen Schadstoffeinträgen in den Boden und zum Teil bis in das Grundwasser.

Ermittlung von Schadensherden

Um die Schadensherde und die Verursacher von Grundwasserunreinigungen ausfindig zu machen, waren folgende Fragen zu klären:

- Wo sind die Grundstücke mit den grundwasserrelevanten industriell-gewerblichen Altlasten?
- Wo sind die Firmen-Standorte mit Eintragsstellen bzw. Schadensherde zu finden, bei denen das Reinigungs- und Rückhaltevermögen der überlagernden Bodenschichten nicht ausreichend war, so dass es zu nutzungsspezifischen Schadstoffeinträgen bis in das Grundwasser kam?

Etwa 15 Jahre lang erfolgten die Altlasten-Erkundungen und, behördlicherseits, die sogenannte „Schadensfall-Sachbearbeitung“ im Rahmen der Wassergesetze. Ab dem Jahr 2000 erfolgte dies nach den Anforderungen und Bewertungskriterien der neuen Bodenschutzgesetze.

Die Ermittlungen erfolgten über folgende Ansatzpunkte / Fallvarianten.

Betriebskontrollen / Ortseinsichten

Mit der systematischen Überprüfung der Firmen, die mit relevanten wassergefährdenden Stoffen umgingen, begann das Umweltamt im Herbst 1985. Sofern bei einer Ortseinsicht beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen offensichtliche bzw. gravierende Missstände oder konkrete Anhaltspunkte für massive Schadstoffeinträge entdeckt / ermittelt wurden, wurde die Firma aufgefordert, das Schadensausmaß im Untergrund durch einen Altlasten-Sachverständigen mit Hilfe geeigneter Sondierungen untersuchen zu lassen. Dabei wird in der Regel eine schrittweise Vorgehensweise gewählt. Im ersten Schritt wird der Boden untersucht.

Bei dieser Fallvariante, oftmals eine Kombination aus Neulasten und z.T. Altlasten, war sowohl der Bereich der Schadstoffeinträge (Schadensherd) als auch die Schadstoffgruppe bekannt. Zudem gab es einen konkreten Verursacher (Handlungsstörer).

Das Umweltamt sammelte bei mehr als 1.000 Betriebskontrollen / Ortseinsichten zahlreiche Erfahrungen zu den Aspekten vorsorgender und nachsorgender Boden- und Gewässerschutz.

Amtsermittlung

Mit den Bodenschutzgesetzen wurde auch das Instrumentarium der Amtsermittlung eingeführt.

Die Amtsermittlung (AE) verfolgt das Ziel, Grundstücke (ehemalige Gewerbeflächen, sogenannte Altstandorte) ausfindig zu machen, auf denen in der Vergangenheit erhebliche Mengen an Schadstoffen in den Untergrund gelangten. Im Rahmen der AE werden erste technische Bodenuntersuchungen zur Ermittlung des Schadstoffpotenzials im Untergrund durchgeführt. Die Mittel für die Finanzierung dieser Erstuntersuchungen werden vom Freistaat Bayern bereitgestellt. In den ersten 11 Jahren der AE (von 2000 bis 2010, 33 AE-Fälle) wurde bei den 270 Rammkernsondierungen (RKS) keine spektakuläre grundwasserrelevante Altlast entdeckt. Bei zwei Standorten wurde eine Bodenluft-Sanierung erforderlich (Austrag 63,3 kg LHKW). Nur bei einem Standort fand man relevante Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser, hier wurde erfolgreich eine Grundwasser-Sanierung umgesetzt (Austrag 2,3 kg LHKW).

Es zeigte sich, dass allein auf der Grundlage von Informationen über altlastenrelevante Branchennutzungen und Erkenntnissen zum Umgang mit umweltrelevanten Umgangsstoffen aus historischen Nutzungsrecherchen und anderen Quellen, d.h. im Rahmen beprobungsloser Erkundungen, es fast unmöglich ist, die im Stadtgebiet ggf. vorhandenen aber noch unerkannten stark kontaminierten Grundstücke zu erkennen bzw. herauszufiltern.

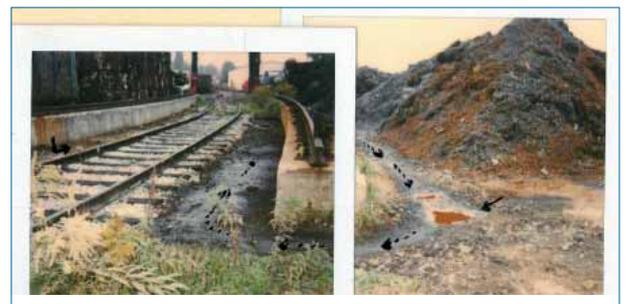


Abbildung 47: September 1988: Spänelager im Freien ohne Untergrundabdichtung
(Foto: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

Grundstücksverkäufe / Nutzungsänderungen

Im Rahmen von Grundstücksveräußerungen oder Nutzungsänderungen (z.B. von Gewerbe zu Wohnen) werden bei Altlastenverdachtsflächen z.T. recht umfangreiche Altlastengutachten erstellt.

Beispiel: Ehem. Infanteriekaserne mit rund 16 ha, von ca. 1900 bis 1994 militärisch genutzt

In einem Gutachten vom November 2002 wird berichtet, dass bislang von zwei Gutachtern insgesamt 160 Rammkernsondierungen und ca. 20 Baggerschürfe ausgeführt und aufbauend auf deren Ergebnissen 12 Schichtwasser-Pegel und 5 Grundwasser-Pegel errichtet wurden.

Interessant an diesem Fall ist, dass hier an einigen Stellen im Grundwasser (vorwiegend im Schichtwasserhorizont) hohe Schadstoffkonzentrationen anzutreffen waren, dessen eigentliche Schadensquelle bzw. die Schadensursache jedoch im Rückblick nicht mehr rekonstruierbar war; es gab bzw. gibt nur die Vermutung über einen Benzinschadensfall in den 50er Jahren.

Übersicht über nutzungsspezifische Grundwasserbelastungen in Nürnberg

Das Umweltamt wertete 2015 im Rahmen einer Projektstudie und im März 2017 die Erkenntnisse aus über 30 Jahren Schadensfall-Sachbearbeitung insbesondere hinsichtlich der Grundwasserrelevanz aus.

Aufgrund der industriellen Vorgeschichte sind im Stadtgebiet Nürnberg bei den nutzungsspezifischen Untergrundbelastungen, d.h. bei Industriestandorten, vornehmlich folgenden Schadstoffgruppen anzutreffen:

LHKW (Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe):

Dominiert werden die Grundwasserverunreinigungen im Stadtgebiet Nürnberg durch die Schadstoffgruppe der LHKW (Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe). Diese Stoffe wurden insbesondere in der metallverarbeitenden Industrie seit den frühen 60er bis späten 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts z.B. als Lösungsmittel oder zur Entfettung eingesetzt. Infolge der besonderen stoffspezifischen Eigenschaften der LHKW und des allgemein unterschätzten Gefährdungspotenzials kam es an vielen Industriestandorten zu einer Verunreinigung des Grundwassers mit LHKW.

MKW und BTEX:

Grundwasserverunreinigungen mit MKW (Mineralölkohlenwasserstoffe) und BTEX (leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe: Benzol / Toluol / Ethylbenzol / Xylol) sind vor allem bei Betrieben der Mineralölverarbeitung / -lagerung und bei Tankstellen vorzufinden.

PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe):

Kontaminationen mit PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) sind bevorzugt im Umfeld von ehem. Gaswerksstandorten vorzufinden. Weiterhin findet sich diese Schadstoffgruppe oft in umweltrelevanten Bodenauffüllungen als Verbrennungsrückstände in Form von Aschen und Schlacken.

PFC (Per- und polyfluorirte Chemikalien):

Überwiegend Einträge durch Löschsäume. Näheres vgl. Kapitel 5.1.4.

Schwermetalle (SM):

Schwermetalleinträge (z.B. Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer) wurden überwiegend bei Betrieben aus der Metallverarbeitung und Oberflächenbehandlung, z.B. bei Galvaniken oder Gießereien festgestellt.



Abbildung 48: Ausschnitt aus der Grundwasserbelastungskarte (vgl. Anlage D)
In dieser Karte werden die Lage der Erkundungs- und Sanierungsstandorte mit Angabe der jeweiligen Hauptschadstoffgruppen sowie die grobe Grundwasserfließrichtung (Grundwassergleichen) dargestellt. (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Altlastenerkundungen

Seit Mitte der 80er Jahre wurden im Stadtgebiet von Nürnberg bei rund 1.150 Grundstücken der Boden bzw. die Bodenluft mittels Sondierungen auf mögliche Schadstoffeinträge bzw. Altlasten untersucht.

Sofern die Ergebnisse der Boden-, Eluat- und Bodenluftuntersuchungen unter Berücksichtigung der geologischen Standortverhältnisse den Verdacht einer erheblichen Gewässerkontamination erhärteten, wurden im nächsten Schritt Grundwasseruntersuchungen gefordert.

Grundwasserschadensfälle

Die Grundwasserbelastungssituation ist an verschiedenen Standorten je nach Schadstoff, Schadensherd und Untergrundsituation in unterschiedlichen Tiefen anzutreffen. Die Ermittlung erfolgt über tiefenorientierte Probenahmen oder über den Ausbau von Grundwassermessstellen mit Zonierung der Filterstrecken. In der Grundwasser-Belastungskarte (Anlage D bzw. im Ausschnitt Abbildung 48) wurde jedoch aus Übersichtsgründen auf eine tiefendifferenzierte Darstellung verzichtet.

Bislang sind im Stadtgebiet an 227 Standorten Grundwasseruntersuchungen auf nutzungsspezifische Schadstoffeinträge durchgeführt worden (Stand 03/2017).

Bei 122 der untersuchten 227 Firmenareale und Altlastenstandorte ergaben die Grundwasseruntersuchungen und Pumpversuche an den eigens errichteten Erkundungsspeigeln, dass entweder nur geringe Belastungen vorlagen oder aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Bedingungen keine effektive hydraulische Sanierung möglich war.

Bei 105 der 227 mittels Grundwassermessstellen überprüften Industrie- bzw. Gewerbestandorte wurde aufgrund von erheblichen Schadstoffeinträgen eine Grundwassersanierung notwendig.

Grundwassersanierungen im Stadtgebiet

An 49 Standorten werden weiterhin (Stand 03/2017), z.T. bereits seit über 20 Jahren, Schadstoffe aus dem Grundwasser entfernt, finanziert vom jeweiligen Handlungs- bzw. Zustandsstörer, bzw. sind in Vorbereitung.

56 Sanierungsmaßnahmen konnten zwischenzeitlich, nach deutlicher Reduzierung der Schadstoff-Konzentrationen, mit behördlicher Zustimmung beendet werden.

Seit 1985 wurden im Nürnberger Stadtgebiet ca. 5 Mio. m³ Grundwasser gereinigt und alleine über den Grundwasserpfad mehr als 200 Tonnen Schadstoffe aus dem Untergrund entfernt.

Weitere Datenquellen über nutzungsspezifische Schadstoffe im Grundwasser

Außer den Erkenntnissen aus der Schadensfall-Sachbearbeitung wurden die vorliegenden Untersuchungsergebnisse der Notwasser- und Industriebrunnen (1987 erstmals systematisch untersucht / betrachtet) ausgewertet.

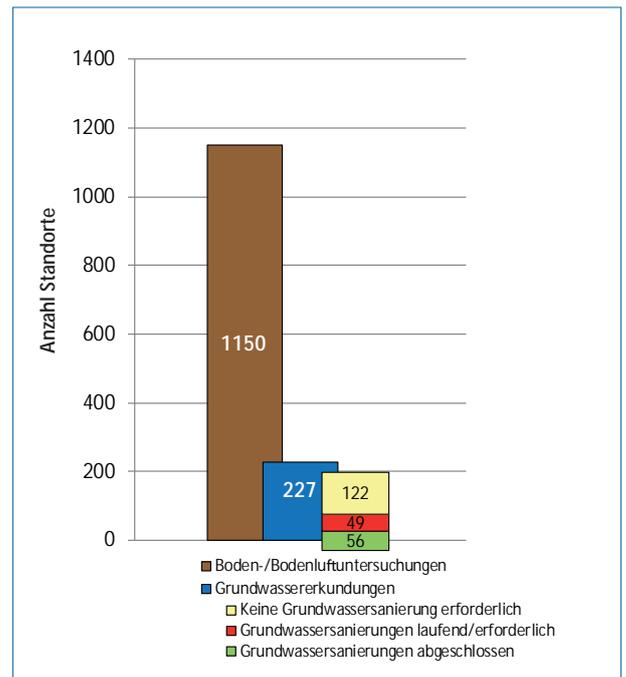


Abbildung 49: Anzahl Grundstücke mit Altlastenerkundungen und mit Grundwassersanierungen im Stadtgebiet von Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

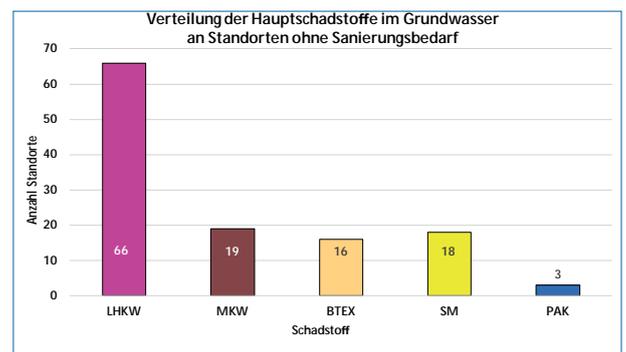


Abbildung 50: Verteilung der Hauptschadstoffe im Grundwasser an 122 gering belasteten Standorten im Stadtgebiet von Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

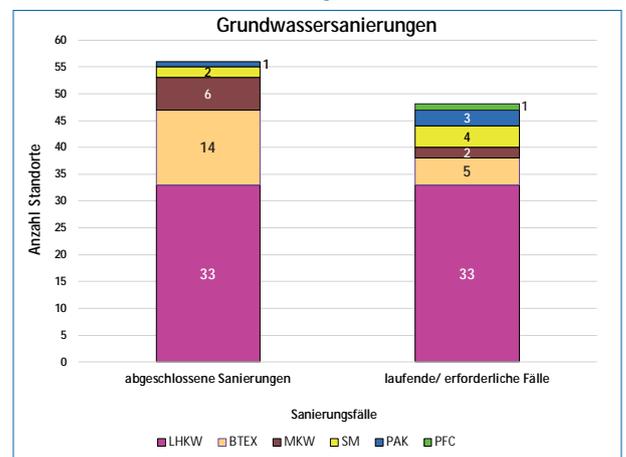


Abbildung 51: Grundwassersanierungen im Stadtgebiet von Nürnberg - beteiligte Hauptschadstoffe (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

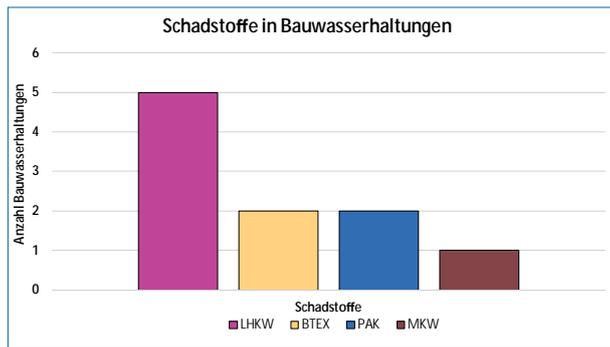


Abbildung 52: Umweltrelevante Grundwasserbelastungen bei Bauwasserhaltungen; Maßnahmen erforderlich (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Die Analysenwerte von ca. 120 Notwasserbrunnen sind in die Darstellung der Grundwasserbelastungskarte (Anlage D) mit eingeflossen.

Bei acht Notwasserbrunnen wurden zuletzt relevante Schadstoffkonzentrationen mit LHKW ($> 40 \mu\text{g/l}$) nachgewiesen. Weiterhin wurden die Erkenntnisse von ca. 57 Industriebrunnen berücksichtigt. Bei acht Industriebrunnen liegen aktuell relevante nutzungsspezifische Schadstoffkonzentrationen vor.

Bauwasserhaltungen

Beim Vorliegen konkreter Anhaltspunkte dafür, dass mit schadstoffbelastetem Grundwasser zu rechnen ist, kann das Umweltamt bei Bauwasserhaltungen im Rahmen einer wasserrechtlichen Erlaubnis Grundwasseruntersuchungen fordern. Die Grundwasserbelastungskarte (Anlage D, Stand 2017) liefert Informationen über umweltrelevante Grundwasserunreinigungen. Sofern die Bauwasserhaltung im Bereich einer relevanten Stelle liegt, ist das Grundwasser entsprechend untersuchen zu lassen.

In den letzten Jahren wurde im Stadtgebiet Nürnberg bei 10 Bauwasserhaltungen erheblich verunreinigtes Grundwasser angetroffen. Erheblich verunreinigtes Bauwasser / Grundwasser muss vor der Ableitung oder Wiedereinleitung gereinigt werden.

3.1.2. Überwachung der Grundwasserqualität

Für die Erfassung der Grundwasserqualität wurden im Rahmen des Monitorings Analysedaten von 198 Brunnen ausgewertet. Das Qualitätsmessnetz besteht im Wesentlichen aus Not- und Betriebsbrunnen. Für die Parameter Nitrat und Pflanzenschutzmittel werden außerdem einzelne Beregnungs- und Garten-/ Trinkwasserbrunnen herangezogen.

Das Qualitätsmessnetz soll einen allgemeinen und über lange Zeiträume vergleichbaren Überblick über die allgemeine Verbreitung relevanter Schadstoffe im Grundwasser des Stadtgebietes geben (städtische Hintergrundgehalte, diffuse Stoffeinträge). Analysenwerte aus Sanierungsbrunnen, von Einzel- und Altlastenuntersuchungen sind nicht enthalten.

Im letzten Messzeitraum von 2011 bis 2016 wurde das bisherige Messnetz vorwiegend im Süden um vier Beregnungsbrunnen und einige Garten- / Trinkwasserbrunnen ergänzt, so dass die vormalige Datenlücke weitgehend geschlossen werden konnte. Im Jahr 2014 wurde ergänzend ein Sondermessprogramm durchgeführt. In diesem Rahmen wurde an 19 weiteren Brunnen und Messstellen (vgl. Karte 13), vorwiegend im Süden Nürnbergs, sowohl die Standard- und Hauptuntersuchungsparameter (Leitparameter) als auch zusätzliche, spezielle Schadstoffparameter, die nicht standardmäßig untersucht werden, analysiert (vgl. Kapitel 3.1.4.). Damit konnte der Überblick über die Grundwasserqualität im Stadtgebiet weiter verbessert werden.

Wie in der Vergangenheit sind auch 2016 die Hauptschadstoffe im Stadtgebiet LHKW, Nitrat, Pflanzenschutzmittel (PSM) und Chlorid. Darüber hinaus werden weitere Leitparameter ausgewertet. Diese sind in Tabelle 10 aufgeführt. Erstmals ist die Belastung mit dem Herbizid Glyphosat in die Untersuchung mit einbezogen worden.

Die Auswertung der vorhandenen Analysenwerte erfolgt in Form von Mittelwerten je Brunnen innerhalb von 5-Jahreszeiträumen und ab 2005 in 6-Jahreszeiträumen (Anpassung an Zeiträume der Grundwasserberichtserstattung).

Die Auswertungsergebnisse zu den Hauptschadstoffen werden unter anderem mit Hilfe von interpolierten Karten und über Grafiken, die den zeitlichen Verlauf der Belastungssituation wiedergeben, dargestellt.

Bei den Karten ist zu berücksichtigen, dass die jeweiligen Untersuchungsergebnisse tatsächlich lediglich an den einzelnen Messpunkten nachgewiesen wurden. Das Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe ist jeweils abhängig von den Eigenschaften der Stoffgruppe und der örtlichen hydrogeologischen Situation. Die Interpolation kann solche Aspekte nicht berücksichtigen, sondern stellt Schwerpunktgebiete mit Schadstoffbelastungen dar. Für einen Gesamtüberblick über die Grundwasserqualität im Stadtgebiet sind diese Darstellungen grundsätzlich geeignet, nicht jedoch für differenzierte, standortbezogene Aussagen.

Bei den Balkendiagrammen, die den zeitlichen Verlauf der Belastungssituation aufzeigen, wurden, wegen der Vergleichbarkeit der Zeiträume, die Ergebnisse des Sondermessprogrammes nicht mit einbezogen. Eine regelmäßige Verteilung der Brunnen im Stadtgebiet ist in jedem untersuchten Zeitraum gegeben. Bei ca. 50 % der Brunnen liegt eine Messzeitreihe von Beginn bis heute vor. Bei den anderen Brunnen musste auf Ersatz-Messstellen bzw. ein verändertes Messnetz zurückgegriffen werden, teilweise lag eine ausgedünnte Datenlage vor. So ergibt sich eine unterschiedliche Anzahl an Brunnen je betrachtetem Zeitraum, jedoch ist ein prozentualer Vergleich aufgrund der räumlich vergleichbaren Verteilung der Brunnen durchführbar, und entsprechend in den Grafiken dargestellt.

Parameter	Hinweis auf:
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	Verunreinigung durch Gewerbe / Industrie
Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)	Verunreinigung durch Gewerbe / Industrie
Schwermetalle: Chrom, Blei, Cadmium, Arsen und Quecksilber	Verunreinigung durch metallverarbeitende Industrie, zum Teil geogen (Arsen)
Nitrat, Ammonium	Landwirtschaftlichen Einfluss
Pflanzenschutzmittel (PSM) Glyphosat	Landwirtschaftlichen Einfluss Einzelparameter der Schadstoffgruppe PSM
Chlorid	Einträge durch Streusalz; zum Teil geogen
pH-Wert, Leitfähigkeit	Allgemeine Charakterisierung des Grundwassers
Eisen, Mangan	Gefahr der Verockerung von Brunnen und geothermischen Anlagen; überwiegend geogen
Sondermessprogramm 2014 (Bor, Molybdän, Triazole, MTBE)	Defekte geothermische Anlagen, Tankstellenlecks

Tabelle 10: Übersicht der untersuchten Leitparameter

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

3.1.3. Leitparameter des Grundwassermonitorings

LHKW

Die Leichtflüchtigen Halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) wurden im Rahmen des Grundwassermonitorings hauptsächlich in den Industriegebieten und gewerblich stark genutzten Flächen der Südstadt, teils mit stark erhöhten Konzentrationen von teilweise über 1000 µg/l, nachgewiesen. Hierbei sind weit überwiegend die beiden Einzelparameter Tri (Trichlorethen) und Per (Tetrachlorethen) beteiligt. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TVO; [106]) für die Summe Tri und Per liegt bei 10 µg/l.

Es handelt sich bei den LHKW-Verunreinigungen um punktuelle Schadensfälle v.a. durch Handhabungsverluste oder Probleme bei der Lagerung. Die Eintragsstellen sind räumlich begrenzt. Die Ausbreitung des Schadstoffes im Grundwasserkörper erfolgt meist in schmalen Fahnen in Grundwasserfließrichtung (vgl. Kapitel 5.1.3.). Dennoch sind aufgrund des sehr verbreiteten Einsatzes dieser Reinigungs-, Extraktions- und Lösemittel in den 1950er bis 1980er Jahren diese Schadstoffe in zahlreichen Brunnen und Messstellen anzutreffen. In rund 60 % der Messstellen des Qualitätsnetzes sind LHKW nachweisbar. Bei 30 % liegt der Summenwert über 10 µg/l.

Die Kartendarstellung für den Gesamtüberblick der LHKW-Belastungssituation im Stadtgebiet von Nürnberg erfolgt wegen der nur punktuellen Einträge in Form von abgestuften Symbolen (Karte 4 und 5).

Die ergänzenden interpolierten Karten 4a und 5a dienen der plakativen Darstellung von Schwerpunktbereichen der LHKW-Belastungen, die jedoch nicht mit der Schadstoffausbreitung zu verwechseln sind. Auf den Hinweis in der entsprechenden Karte wird verwiesen.

Im Vergleich der beiden Zeiträume 2005 – 2010 und 2011 – 2016 der aktuellen Auswertungen (Karten 4 und 5) kann eine Verbesserung der LHKW Belastung vor allem im Westen und Südosten des Stadtgebietes festgestellt werden. Eine Verschlechterung ist an der Ostseite des Frankenschnellwegs an der Grenze von Gibitzenhof und Steinbühl zu erkennen. Die meisten Bereiche mit stark erhöhten Werten im Zeitraum 2005 - 2010 konnten saniert werden und weisen nun im Messzeitraum 2011 - 2016 eine deutliche Verbesserung auf.

In Abbildung 53 ist die Entwicklung der Belastungssituation seit 1995 zu sehen. Hier ist eine deutliche Verbesserung zu erkennen. Seit Beginn des Monitorings sind die sehr hohen Schadstoffbelastungen von über 1000 µg/l von fünf auf nur mehr einen Brunnen zurückgegangen. 1999 überschritten 42 Brunnen und 2005 noch 23 Brunnen den Stufe-2-Wert für starkbelastete Grundwässer mit Bedarf auf Sanierungsuntersuchungen von 40 µg/l [139]. Im Zeitraum 2011 – 2016 konnte diese Zahl auf 19 Brunnen verringert werden.

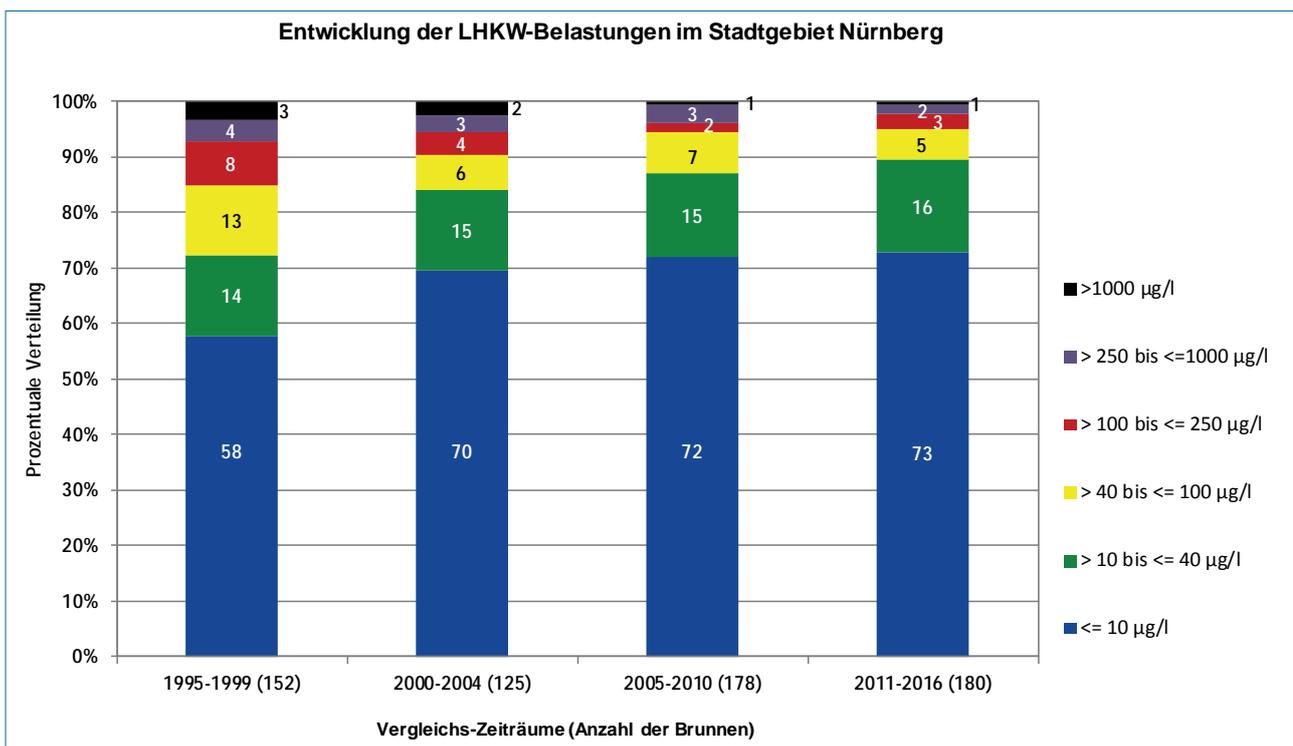


Abbildung 53: Prozentuale Verteilung LHKW-belasteter Brunnen des Qualitätsmessnetzes (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Die LHKW stellen bei den industriell bedingten Stoffeinträgen nach wie vor die Hauptschadstoffgruppe dar. Die entstandenen Grundwasserbelastungen konnten durch intensive Sanierungsmaßnahmen über die letzten 20 Jahre nach und nach aus dem Grundwasser entfernt werden. Das weitere Vorgehen ist, die letzten Schadensfälle zu sanieren und einen weiteren Eintrag von LHKW zu verhindern. Die Stadt Nürnberg befindet sich hierbei auf einem guten Weg (vgl. Kapitel 5.1.3.)

BTEX

BTEX ist eine Abkürzung für die Aromatischen Kohlenwasserstoffe. Die Parameter dieser Schadstoffgruppe sind Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole. BTEX-Aromaten wurden und werden als Löse- und Entfettungsmittel eingesetzt. Kraftstoffe können große Mengen BTEX-Aromaten enthalten. Die Bewertung der Schadstoffbelastung erfolgt über den Summenwert, d.h. deren Gesamtgehalt im Grundwasser.

Im Rahmen des Sondermessprogramms 2014 wurde ein Brunnen mit deutlich erhöhten BTEX – Werten erfasst. Dort, im Bereich der ehemaligen Südkaserne, liegt die nachgewiesene BTEX-Summe bei 0,646 mg/l, d.h. weit über dem Stufe-2-Wert für Sanierungsuntersuchungen: 0,01mg/l [139]. Ursache ist ein Schadensfall, der gerade saniert wird.

An einem Standort im Hafengebiet wurde zudem eine erhöhte Gesamtkonzentration von 0,01mg/l nachgewiesen. Weitere erhöhte Belastungen sind im Rahmen des Grundwassermonitoringprogrammes nicht festgestellt worden. Jedoch stellen BTEX-Belastungen bei der Schadensfallbearbeitung im Stadtgebiet von Nürnberg eine sanierungsrelevante Schadstoffgruppe dar (vgl. Kapitel 3.1.1 und Anlage D).

PAK

Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind eine Stoffgruppe, zu der alle Verbindungen gehören, die aus zwei bis sieben Ringen von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen aufgebaut sind. In der Regel erfolgt die Bestimmung über die Summe von 16 Einzelsubstanzen gemäß Liste der US Environmental Protection Agency (EPA).

PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material wie Holz, Kohle oder Öl. Umwelt- und gesundheitsgefährdend sind dabei insbesondere die Parameter Naphtalin und Benzo-a-pyren. Der Grenzwert der TVO wird für die jeweiligen relevanten Stoffe sowie für den Summenwerte in den Brunnen des Grundwassermonitoringprogrammes im gesamten Stadtgebiet nicht erreicht oder überschritten.

Im Rahmen von Altlastensanierungen sind jedoch bislang 4 Standorte mit sanierungsrelevanten PAK-Gehalten im Grundwasser festgestellt worden, wovon ein Sanierungsfall bereits abgeschlossen werden konnte (vgl. Kapitel 3.1.1.).

Schwermetalle und Arsen

Für die Auswertungen wurden wie in 2011 [1] die Parameter Blei, Cadmium, Arsen, Chrom und Quecksilber untersucht. Dabei wurden vereinzelt Überschreitungen der TVO an den gemessenen Brunnen ermittelt. In der Innenstadt im Bereich des Hübnerplatzes wurden sehr hohe Belastungen von Chrom, Arsen und Blei gemessen. Die Herkunft konnte noch nicht geklärt werden.

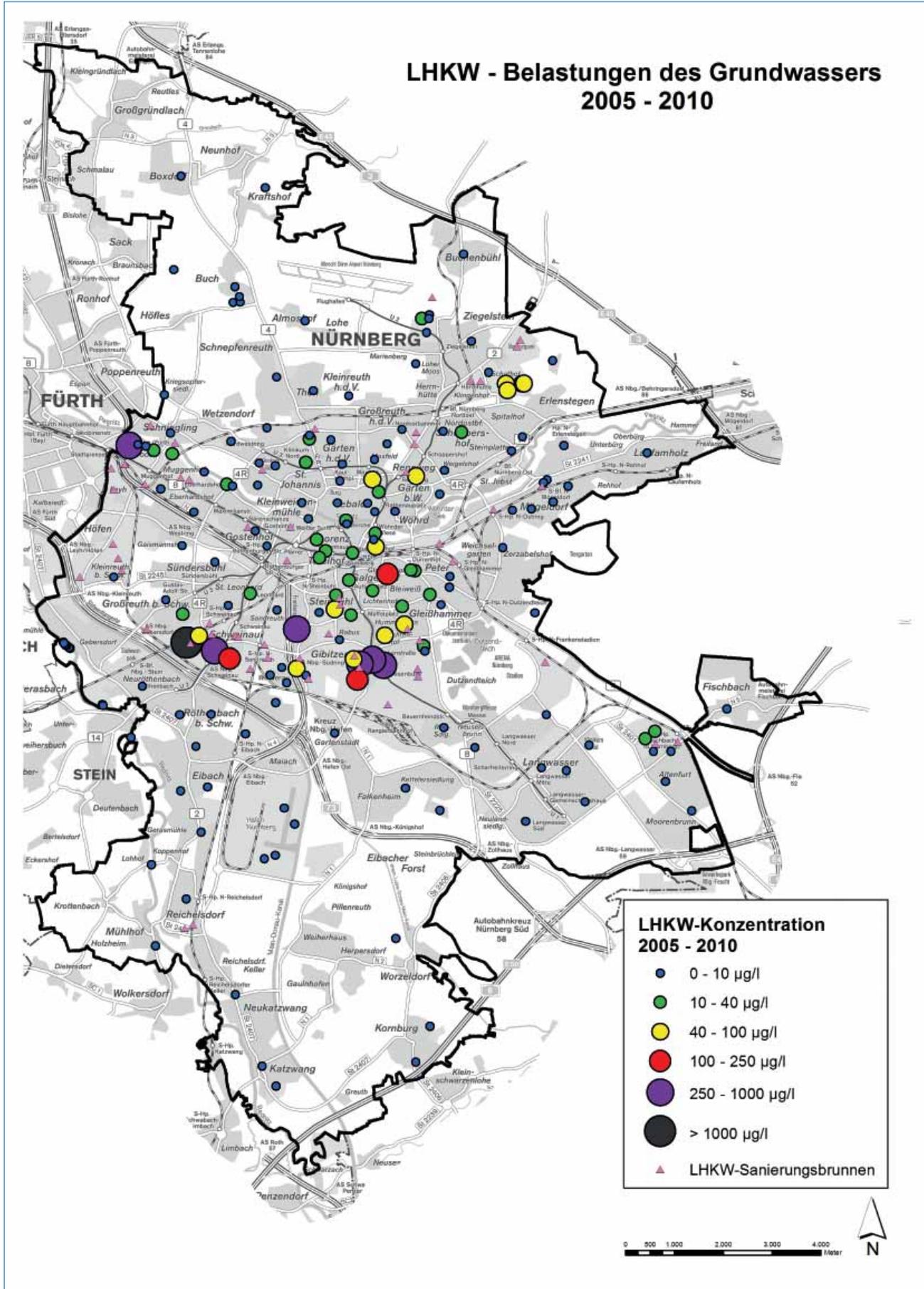
Cadmium und Quecksilber wurden darüber hinaus im Rahmen des Grundwassermonitoringprogrammes nicht nachgewiesen. Ebenso sind keine weiteren Chrombelastungen zu erkennen.

Erhöhte Bleikonzentrationen wurden in Steinbühl und der Werderau nachgewiesen und damit in Gebieten mit erhöhter industrieller Prägung.

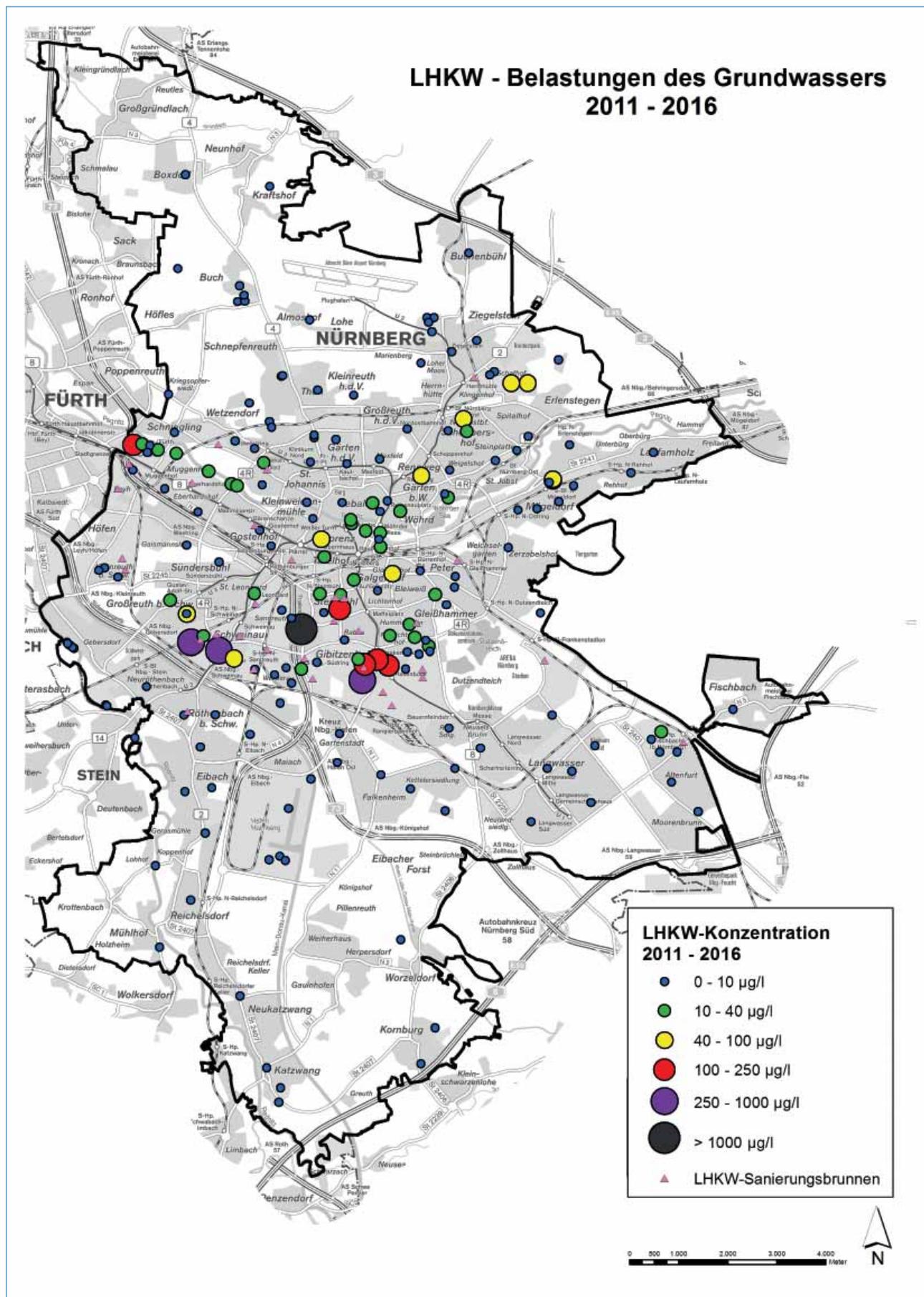
Arsen ist im Grundwasser des Nürnberger Stadtgebiets, wie im letzten Grundwasserbericht 2011 [1] behandelt, bei Werten bis zu ca. 0,07 mg/l [87] geogen bedingt (TVO-Grenzwert: 0,01 mg/l). Anthropogen bedingte Arsenbelastungen sind im Bereich der Altdeponie Buchenbühl (vgl. Kapitel 5.1.5.) bekannt.

Bei der Altlastenbearbeitung wurden bei insgesamt sechs Standorten sanierungsrelevante Grundwasserbelastungen mit Schwermetallen (incl. Arsen) festgestellt. Zwei Sanierungsfälle konnten bereits abgeschlossen werden.

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

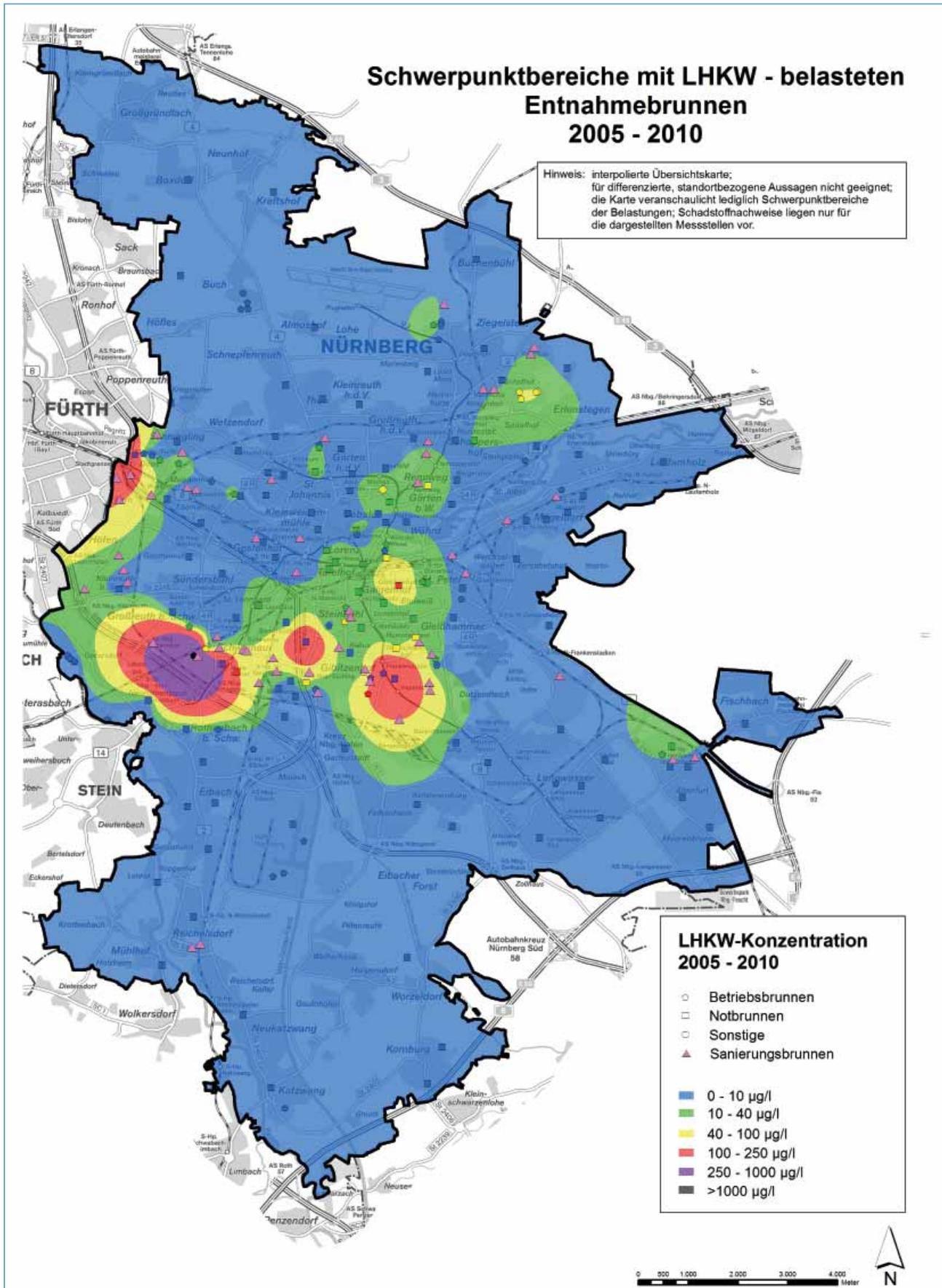


Karte 4: LHKW-Belastungen in Brunnen und Messstellen des Grundwassermonitoringprogrammes im Zeitraum 2005- 2010 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

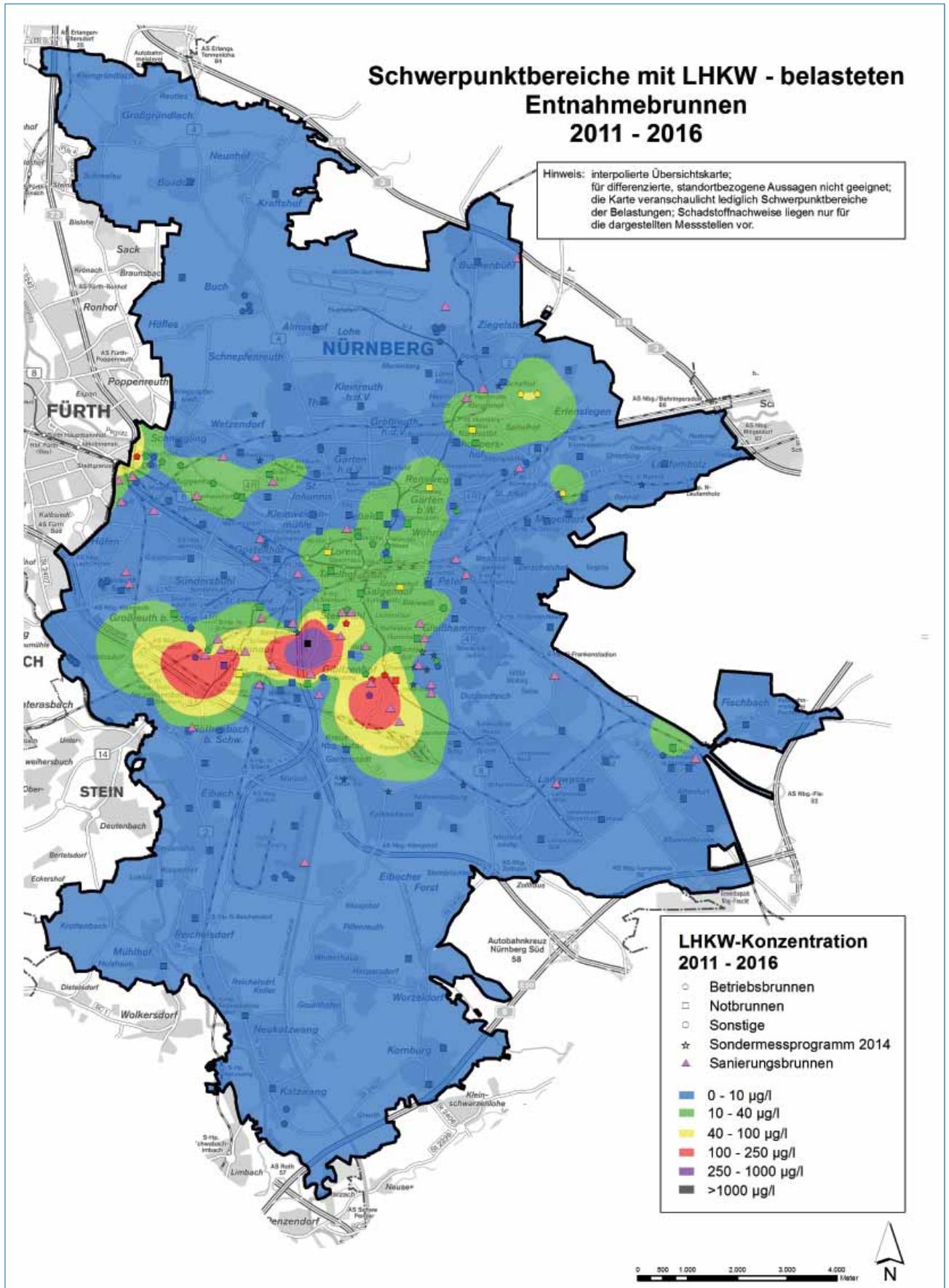


Karte 5: LHKW-Belastungen in Brunnen und Messstellen des Grundwassermonitoringprogrammes im Zeitraum 2011- 2016 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm



Karte 4a: Interpolierte Schwerpunktbereiche mit LHKW-Belastungen im Zeitraum 2005 – 2010 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)
 Hinweis: Eine Vergleichbarkeit zur Karte 5 des Grundwasserberichtes 2011 ist aus methodischen Gründen nur bedingt gegeben.



Karte 5a: Interpolierte Schwerpunktbereiche mit LHKW-Belastungen im Zeitraum 2011 – 2016 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

Nitrat und Ammonium

Nitratgehalte unter 25 mg/l zeigen an, dass nur ein mäßiger anthropogener Einfluss vorliegt. Alle Werte darüber sind deutlich anthropogen bedingt. Der Grenzwert der TVO liegt bei 50 mg/l. In größerem Maße gelangt Nitrat durch Düngung (Mineraldünger, Gülle) in das Grundwasser. Untergeordnet können auch Abgasimmissionen, defekte Abwasserleitungen oder Altablagerungen Verursacher sein.

Ein Blick auf die Karten 6 und 7 zeigt den räumlichen Zusammenhang der Grundwasserbelastungen mit Nitrat und der landwirtschaftlichen sowie gartenbaulichen Nutzung auf. Bei einem Vergleich der beiden Karten, d.h. der verschiedenen Zeiträume, wird eine leichte Verbesserung der Nitratbelastungen im Stadtgebiet deutlich. Jedoch sind weiterhin eine sehr hohe Belastung im Knoblauchsland (vgl. Kapitel 3.1.6.) und erhöhte Gehalte im Süden zu erkennen. Besonders die Verteilung der Konzentrationen zeigt sich vergleichsweise wenig verändert zum Grundwasserbericht 2011.

Bei der Interpretation muss beachtet werden, dass, teilweise, z.B. im Norden, weniger Analyseergebnisse vorlagen, wohingegen im Süden das Messnetz verdichtet wurde. Dort wurden neben Beregnungsbrunnen auch geeignete private Garten- und Trinkwasserbrunnen herangezogen, so dass die vormalige Datenlücke geschlossen werden konnte und sich nun ein klareres Bild der Belastungssituation ergibt.

Abbildung 54 zeigt die zeitliche Entwicklung der Nitratbelastungen an den gemessenen Brunnen. Hier wurde das ständige Messnetz des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg (vgl. Kapitel 3.1.6.) nicht jedoch Sonderuntersuchungen (z.B. aus 2009, vgl. Karte 6) miteinbezogen.

Von 1995 – 2010 ist eine konstante Verbesserung der Grundwasserqualität zu erkennen. Die leichten Verbesserungen bei der Nitratbelastung der letzten beiden Zeiträume (2005 - 2010 und 2011 – 2016), die in den Karten ersichtlich werden, bilden sich auch in der Grafik ab. Die Zunahme an Brunnen mit Nitratgehalten zwischen 50 mg/l und 150 mg/l (gelbe Markierung) ist verursacht durch die seit 2011 im Süden ergänzten Messstellen in einem Bereich, der in den vorhergehenden Zeiträumen nicht berücksichtigt war.

Im Angesicht der nach wie vor teilweise weiterhin hohen und sehr hohen Belastungen in den intensiv landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Gebieten des Stadtgebietes, müssen die eingeschlagenen Maßnahmen (z.B. bedarfsgerechte Düngung etc. vgl. Kapitel 5.1.1.) weiter konsequent und nachdrücklich umgesetzt werden.

Ammonium ist bei Stickstoffeinträgen in das Grundwasser dann anzutreffen, wenn das Grundwasser durch Sauerstoffarmut gekennzeichnet ist. Im Qualitätsmessnetz überschreitet die Ammoniumkonzentration bei vier Brunnen den TVO-Grenzwert von 0,5 mg/l. Besonders in der Umgebung des Klärwerks an der Stadtgrenze zu Fürth wurden Werte bis zu 6,5 mg/l im Grundwasser festgestellt. Mit einer Ausnahme in Gostenhof mit 2,3 mg/l liegen im übrigen Stadtgebiet die Ammoniumgehalte deutlich unter dem Grenzwert.

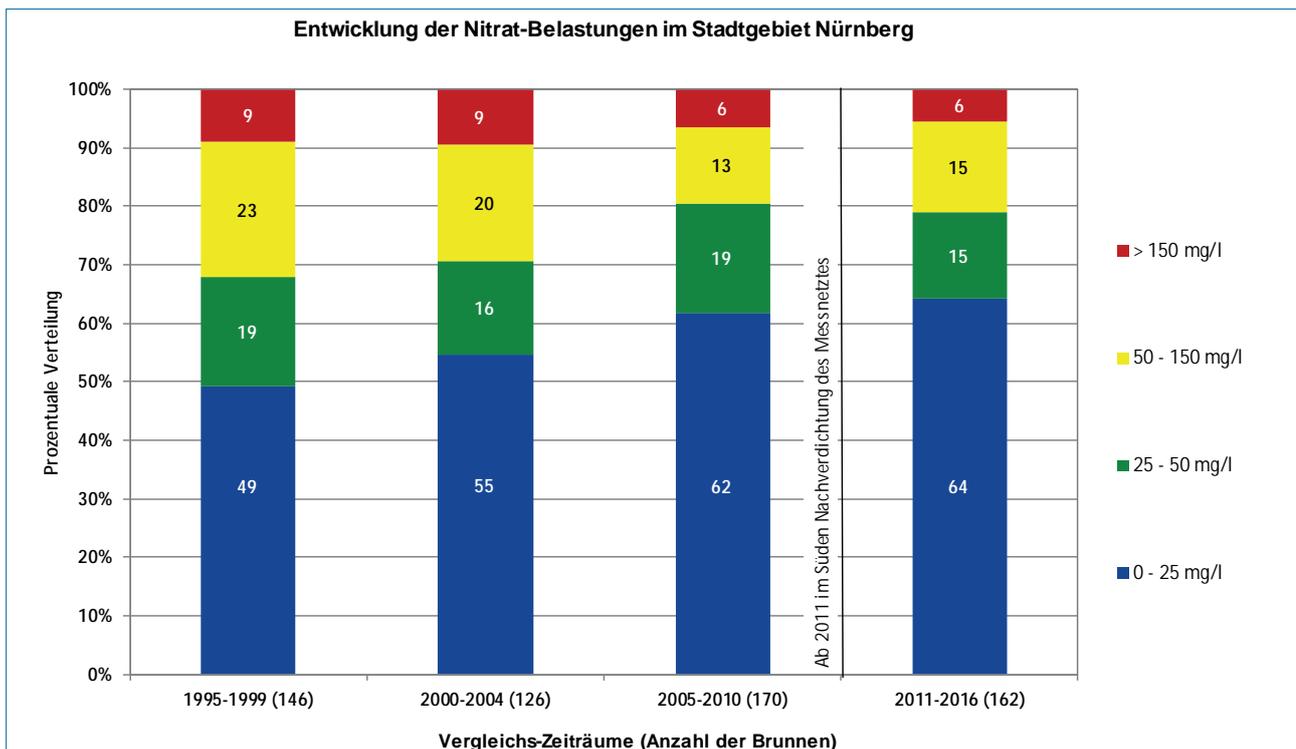


Abbildung 54: Prozentuale Verteilung von Nitratgehalten in Brunnen des Qualitätsmessnetzes (hier: einschließlich 12 Brunnen aus Nitrat-Messnetz des Wasserwirtschaftsamtes vgl. Kapitel 3.1.6.) (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Pflanzenschutzmittel (PSM)

Für den vorliegenden Grundwasserbericht wurden wie bisher auch die Summengehalte der Pflanzenschutzmittel untersucht und dargestellt. Der Grenzwert der TVO liegt hierfür bei $0,5 \mu\text{g/l}$. Das Auswertungsergebnis wird in den Karten 8 und 9 dargestellt. Es fällt auf, dass Spuren von Pflanzenschutzmitteln besonders in Gegenden der Innenstadt mit Haus- und Kleingärten nachgewiesen werden, ebenso können erhöhte Werte in Regionen mit hoher Gledichte erkannt werden. Auffällig sind die Bereiche Gärten hinter der Veste, die Gartenstadt, Muggenhof, Gibitzenhof und St. Peter.

Im Vergleich zur Messung von 2005 – 2010 kann in der Innenstadt eine deutliche Verbesserung durch deutlich verringerte Gehalte in einzelnen Messstellen festgestellt werden. Auch konnte die Erweiterung des Messnetzes im Rahmen eines 2014 durchgeführten Sondermessprogramms den Schwerpunktbereich mit Pflanzenschutzmittelbelastungen im Bereich des Rangierbahnhofes eingrenzen.

Im landwirtschaftlichen Bereich hat dagegen die Belastungssituation offensichtlich zugenommen. Im Süden liegen in einem Not- und in einem Beregnungsbrunnen die Gesamtgehalte bereits über $0,1 \mu\text{g/l}$, jedoch noch deutlich unterhalb des TVO-Grenzwertes.

Im Knoblauchsland hingegen ist der PSM-Summengehalt an einem Brunnen sehr deutlich gestiegen (am westlichen Stadtrand). In einem weiteren Brunnen wurde im Mittel über den Zeitraum ebenfalls eine Überschreitung des TVO-Wertes festgestellt. Innerhalb des betrachteten Zeitraums gehen die hohen Konzentrationen dort jedoch tendenziell wieder zurück.

Die weitere Auswertung für PSM-Einzelstoffe ergibt, dass zusätzlich neun Brunnen im Zeitraum 2005 - 2010 bzw. zehn Brunnen im Zeitraum 2011-2016 den TVO-Grenzwert für Einzelstoffe nicht einhalten. Diese zusätzlich durch PSM-Einzelstoffe belasteten Brunnen befinden sich sowohl im Knoblauchsland (vgl. Kapitel 3.1.6.) als auch im übrigen Stadtgebiet.

Im Zeitraum 2011 – 2016 wurde erstmals Glyphosat genauer untersucht. Glyphosat ist Bestandteil von Breitbandherbiziden und wird bei der Unkrautvernichtung eingesetzt. Es ist ein, seit den 1970er Jahren sehr verbreitet eingesetztes Pflanzenschutzmittel. Es steht im Verdacht krebserregend zu sein und deutlich negative Einflüsse auf den Naturhaushalt, insbesondere auf die Biodiversität, zu haben.

Im Stadtgebiet wurde in den letzten sechs Jahren das Grundwasser an 28 Brunnen auf Glyphosat und sein Abbauprodukt AMPA untersucht. In keinem der untersuchten Grundwässer wurden erhöhte Konzentrationen nachgewiesen. Dieses Ergebnis entspricht den bayern- und deutschlandweiten Erfahrungen [[153]; [156]]. Als Grund hierfür wird unter anderem die geringe Mobilität von Glyphosat im Boden angeführt [156].

Die Grafik der Entwicklung der PSM-Belastungen (Summengehalte) zeigt, dass die Belastung im Stadtgebiet insgesamt abgenommen hat (Abbildung 55). Es werden jedoch nach wie vor erhöhte Werte im Bereich landwirtschaftlicher Nutzungen, sowie einzelner Kleingarten – und Gleisanlagen festgestellt. Die Entwicklung muss – auch im Hinblick auf die Wasserrahmenrichtlinie (vgl. Kapitel 3.1.5.) – weiter beobachtet werden.

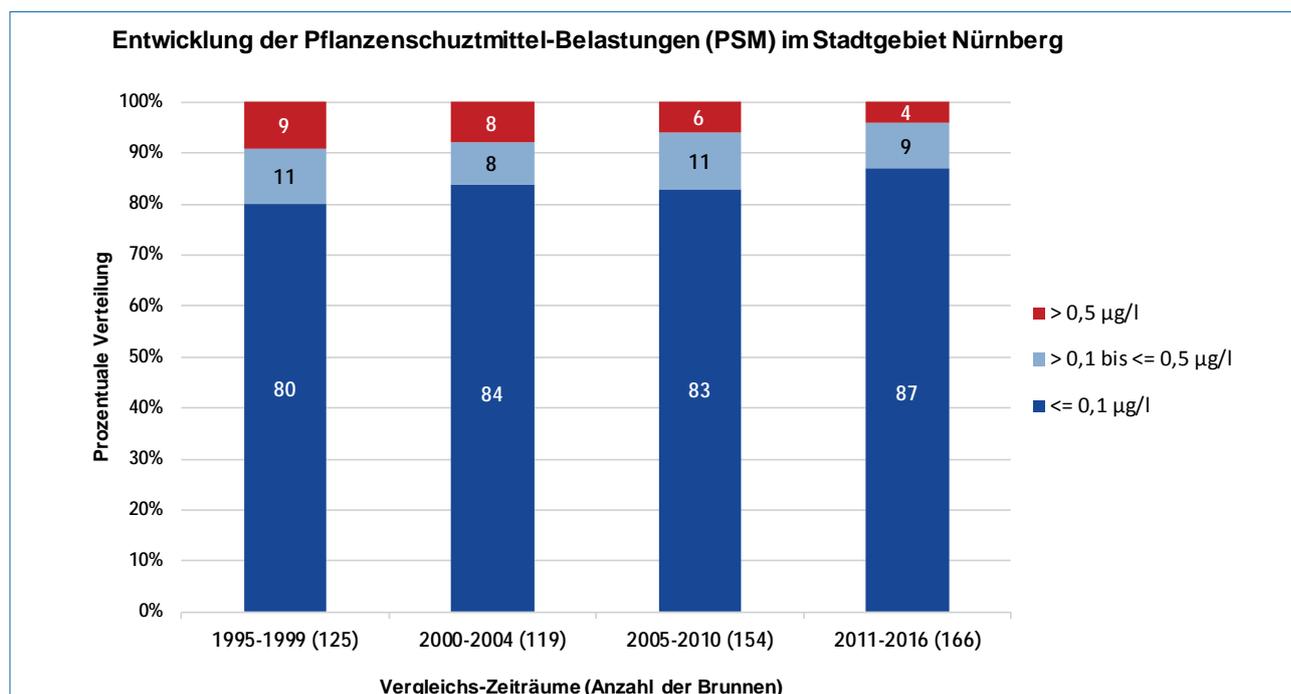
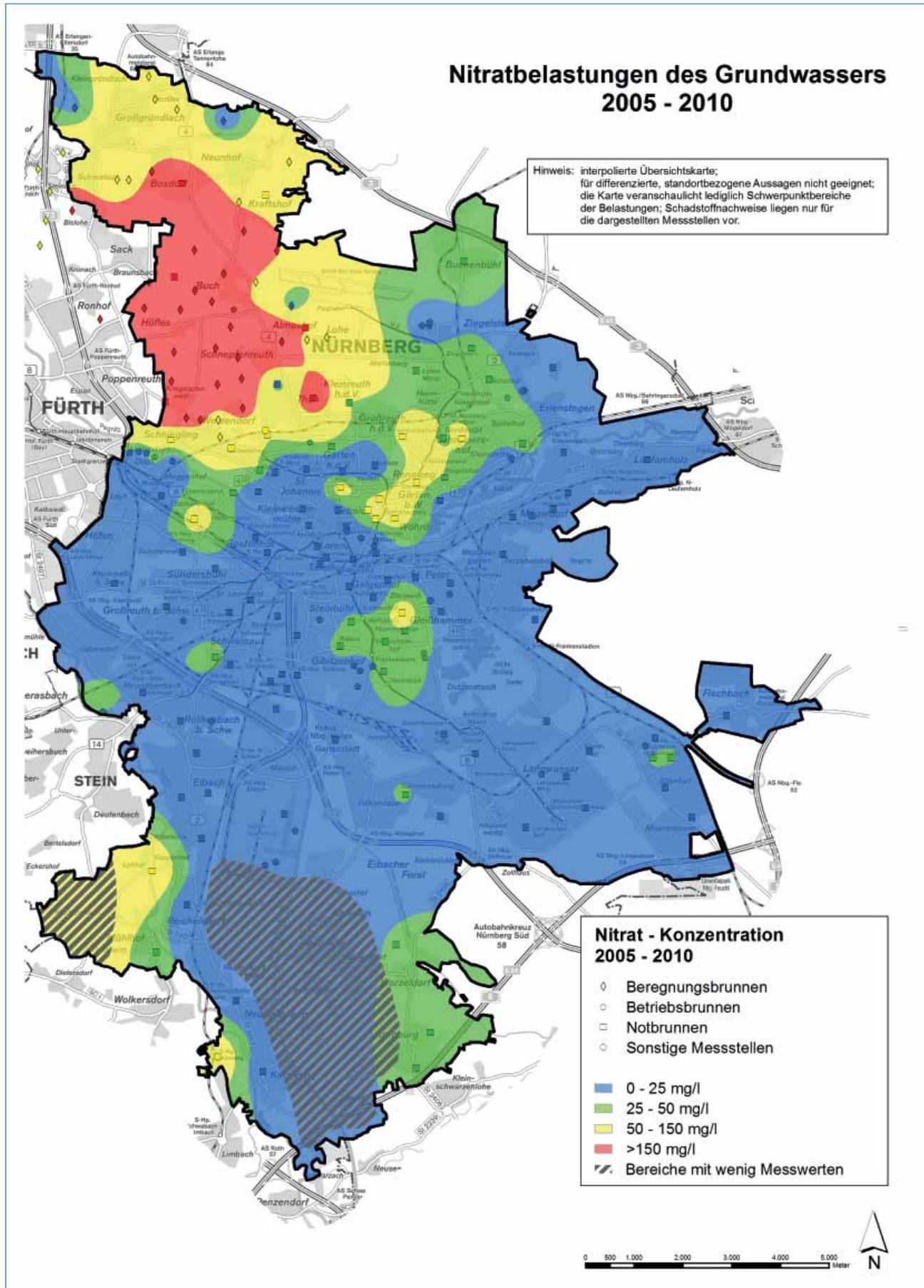
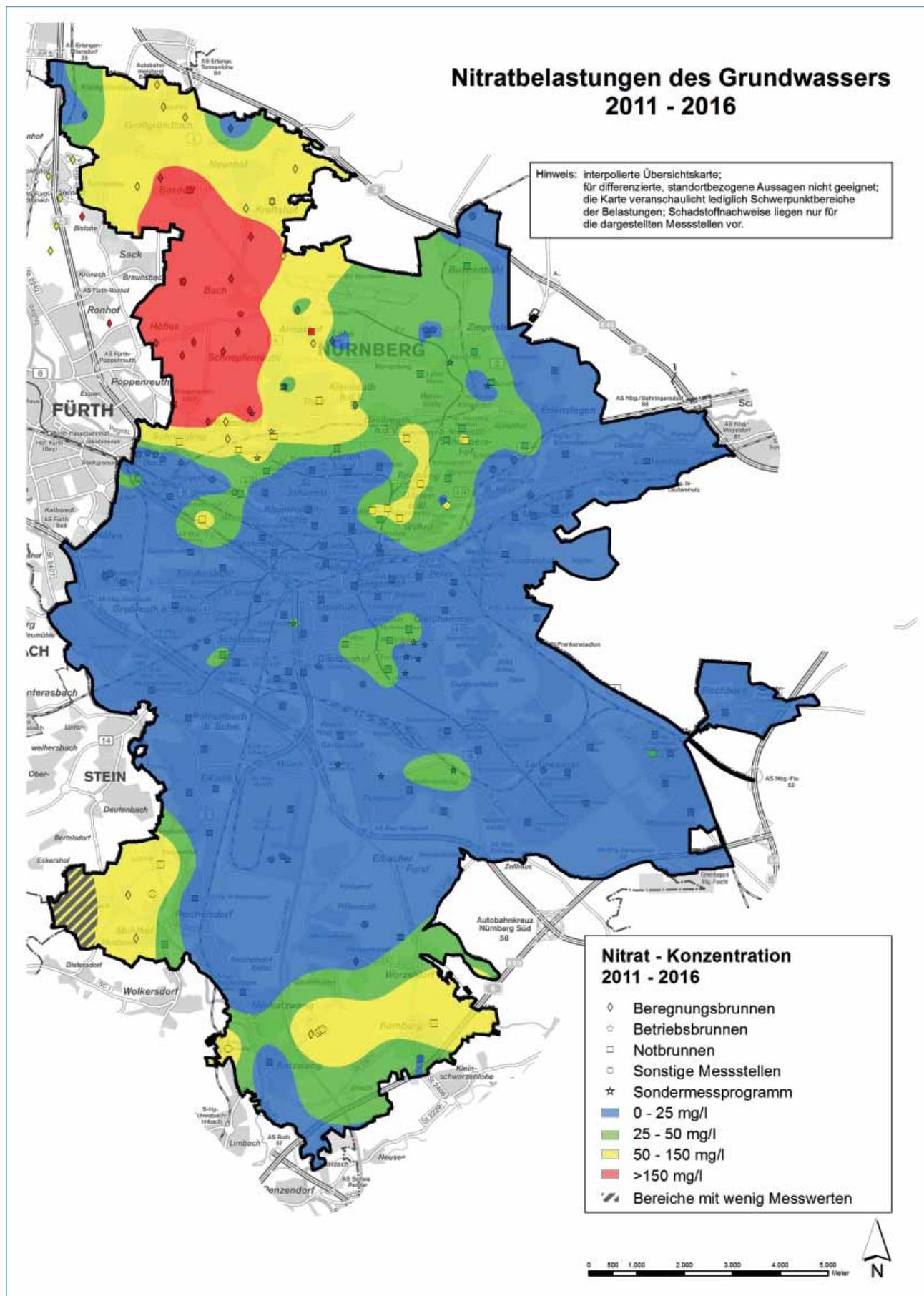


Abbildung 55: Prozentuale Verteilung der Summengehalte von Pflanzenschutzmitteln in Brunnen des Qualitätsmessnetzes (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

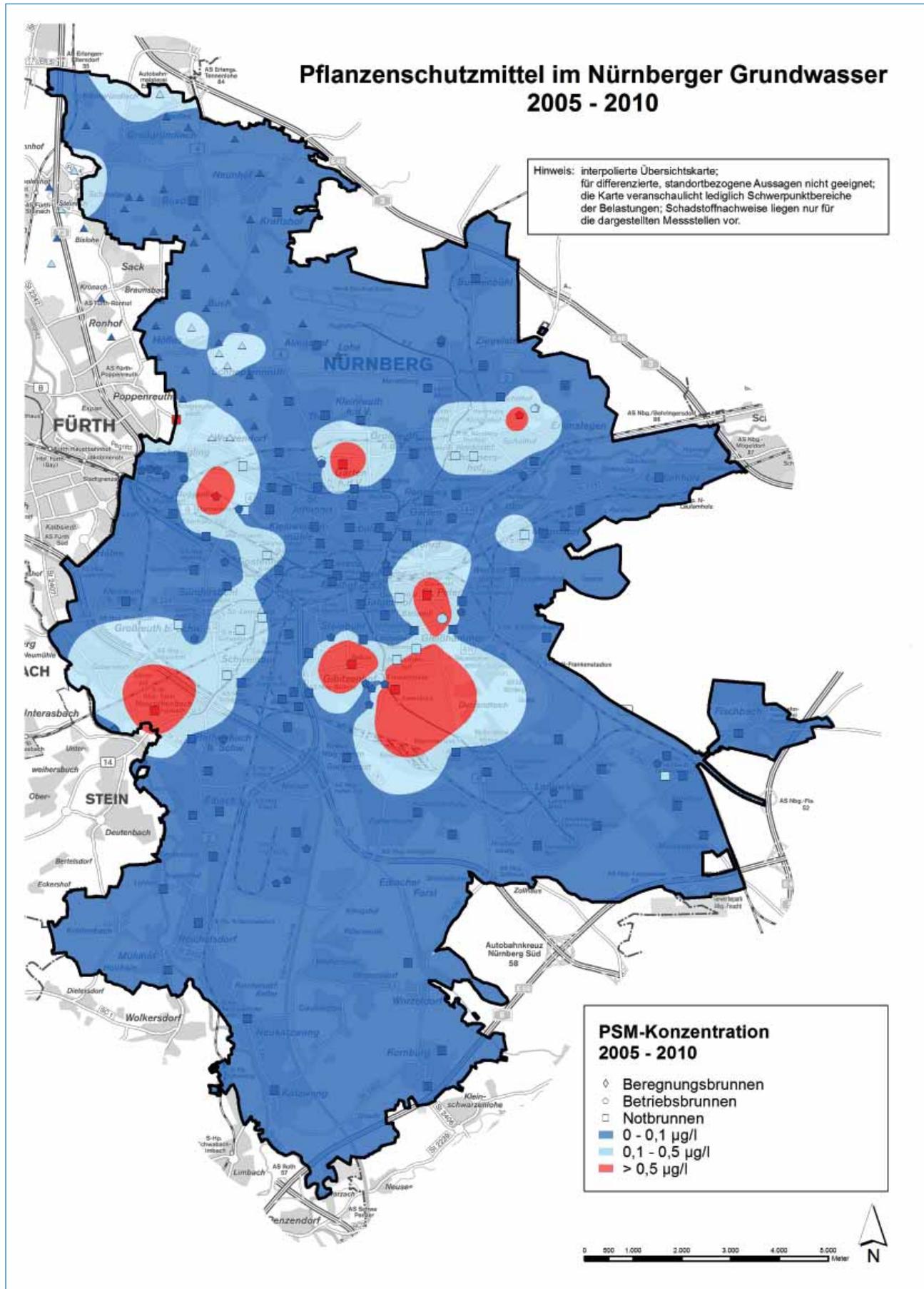


Karte 6: Nitratgehalte im Nürnberger Grundwasser im Zeitraum 2005 – 2010 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

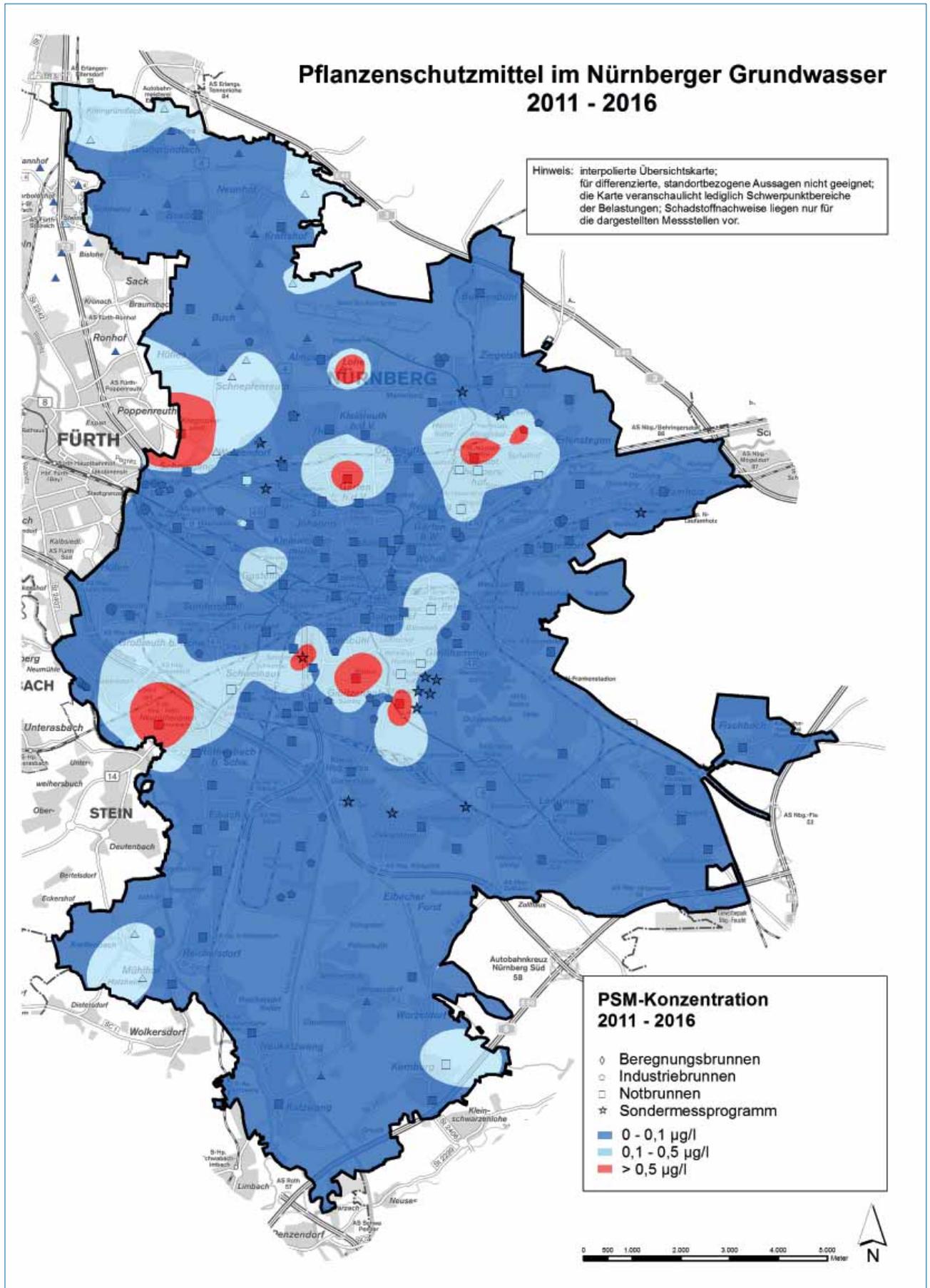


Karte 7: Nitratgehalte im Nürnberger Grundwasser im Zeitraum 2011 – 2016 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm



Karte 8: Pflanzenschutzmittel (PSM-Summengehalte) im Nürnberger Grundwasser im Zeitraum 2005 – 2010
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Karte 9: Pflanzenschutzmittel (PSM-Summengehalte) im Nürnberger Grundwasser im Zeitraum 2011 – 2016 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

Chlorid

Auch 2016 ist Chlorid im Grundwasser des Stadtgebietes weit verbreitet. Im Vergleich zum Grundwasserbericht 2011 stiegen die Werte an (Abbildung 56).

Dabei ist seit 1987 ein kontinuierlicher Trend dahingehend zu erkennen, dass das Grundwasser im Stadtgebiet über weite Strecken erhöhte Chloridwerte aufweist. Einige der höchsten gemessenen Werte wurden entlang stark befahrener Straßen nachgewiesen.

Insgesamt zeigen die Auswertungsergebnisse (Karten 10 und 11), dass die höheren Chloridkonzentrationen im Bereich stark befahrener Straßen um den Stadtkern auftreten. Es liegt die Vermutung nahe, dass ein hoher Anteil des Chlorids durch Streusalz in das Grundwasser gelangt. Das im Schmelzwasser gelöste Salz sickert entweder direkt über das Straßenbegleitgrün in das Grundwasser oder gelangt, da es in den Entwässerungssystemen (Abwasserreinigungsanlage, Regenwasserreinigung) kaum zurückgehalten werden kann, in Bäche und Flüsse. Gewässerorganismen können ab Konzentrationen über 200 mg/l von Chlorid-Ionen geschädigt werden. Manche Süßwasserorganismen verschwinden erst bei Konzentrationen von mehr als 500 mg/l. Eine biologische Verödung tritt ab 5 g/l ein.

Hintergrundkonzentrationen unbelasteter Gewässer liegen dem gegenüber im Bereich 10-50 mg/l [88]. Die Chloridbelastung muss also kontinuierlich weiter beobachtet werden.

Leitfähigkeit und pH – Wert

Der Hintergrundwert der **Leitfähigkeit** im mittleren Keuper liegt bei etwa 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [87], wobei aufgrund geogener Randbedingungen im Stadtgebiet auch Werte bis zu 800 bis 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ als natürliche Hintergrundwerte gelten können. Dieser Wert wird besonders in der Innenstadt häufiger überschritten.

Werte von über 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ wurden im Südosten der Stadt bei Hummelstein und am Hasenbuck im Rahmen des Sondermessprogramms von 2014 ermittelt. Ein Zusammenhang zwischen hoher Leitfähigkeit und hohen Chloridwerten ist, wie bereits im Grundwasserbericht 2011 [1] festgestellt, erkennbar.

In Nürnberg sind die meisten Grundwasser pH-neutral (pH +/- 7), im Bereich des Rangierbahnhofs und im Südosten können einige Messstellen ausgemacht werden, die saure pH-Werte (< 7) aufweisen. Basische pH-Werte (>7) kommen an Notbrunnen in Katzwang, Herpersdorf, Reichelsdorf, Röthenbach und östlich des Dutzendteiches vor. Diese Messstellen weisen bei den sonstigen Leitparametern keine weiteren Auffälligkeiten auf, so dass ein anthropogener Einfluss auf den pH-Wert nicht erkennbar ist. Geologisch können die pH-Werte so interpretiert werden, dass die sauren Grundwasser besonders durch die Beeinflussung von Sandstein und die basischen pH – Werte eher durch Karbonat-, Mergel- und Quackenlagen verursacht werden.

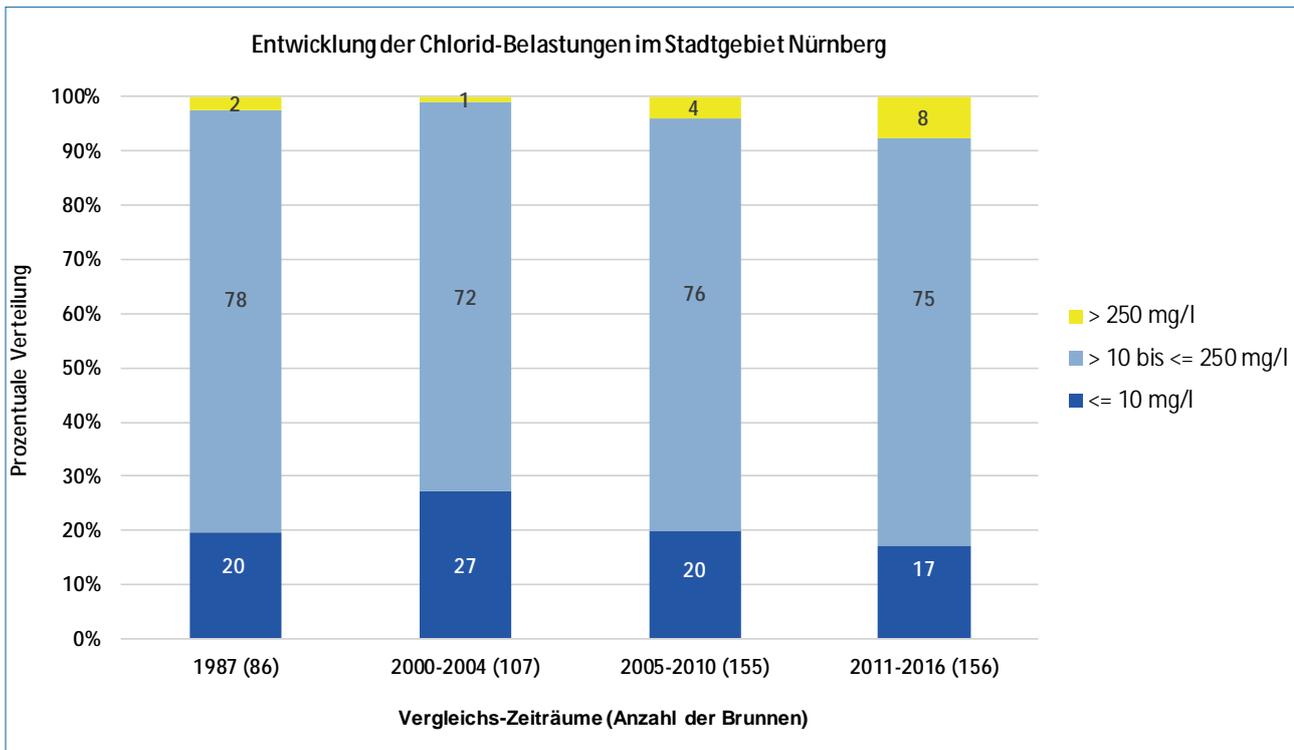


Abbildung 56: Prozentuale Verteilung von Chloridgehalten in Brunnen des Qualitätsmessnetzes (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Eisen & Mangan

Eisen- und Mangangehalte sind nicht vorrangig gesundheitsschädlich, sie führen v.a. aber zunächst zu einem unangenehmen Geschmack des Wassers. Die TVO-Grenzwerte liegen für Eisen bei 0,2 mg/l und für Mangan bei 0,05 mg/l im Grundwasser. Eine größere Bedeutung haben erhöhte Gehalte für den Brunnenbau, da sie Ablagerungen auf Wasserrohren, Brunnen und Teilen geothermischer Anlagen verursachen. Man spricht hierbei von Verockerung mit der Folge einer raschen Alterung der Rohre und Leitungen, was bis zur Unbrauchbarkeit führen kann. Für Brunnen und geothermische Nutzungen in offenen Systemen (z.B. Förder- und Schluckbrunnen) gelten Schwellenwerte von 0,1 mg/l für Mangan [89] und 0,2 mg/l für Eisen [131]. Im Nürnberger Grundwasser werden die genannten Werte häufig, und z.T. deutlich, überschritten.

Bei **Mangan** liegen über 50 % der gemessenen Brunnen über dem verockerungsrelevanten Wert von 0,1 mg/l. Natürliches Mangan kommt geogen bedingt im Mittleren Keuper in durchschnittlichen Konzentrationen von 0,055 mg/l vor. Es können aber auch vereinzelt geogen bedingt deutlich höhere Konzentrationen vorkommen. Die höchste gemessene Konzentration von Mangan in Nürnberg liegt bei 2,64 mg/l in der Forsterstraße.

Bei **Eisen** liegt die geogene Konzentration im Mittleren Keuper bei durchschnittlich 0,25 mg/l und kann in der Region Konzentrationen bis 17,1 mg/l erreichen [87]. Fast alle gemessenen Brunnen liegen unter diesem Maximalwert. Angesichts der ähnlichen Verteilung wie bei Mangan, kann daher im wesentlichen von einer geogen bedingten Eisenkonzentration im Grundwasser ausgegangen werden.

Lediglich eine Messung in der Volckamerstraße weist mit 32 mg/l einen stark erhöhten Wert auf und ist möglicherweise auch anthropogen verursacht.

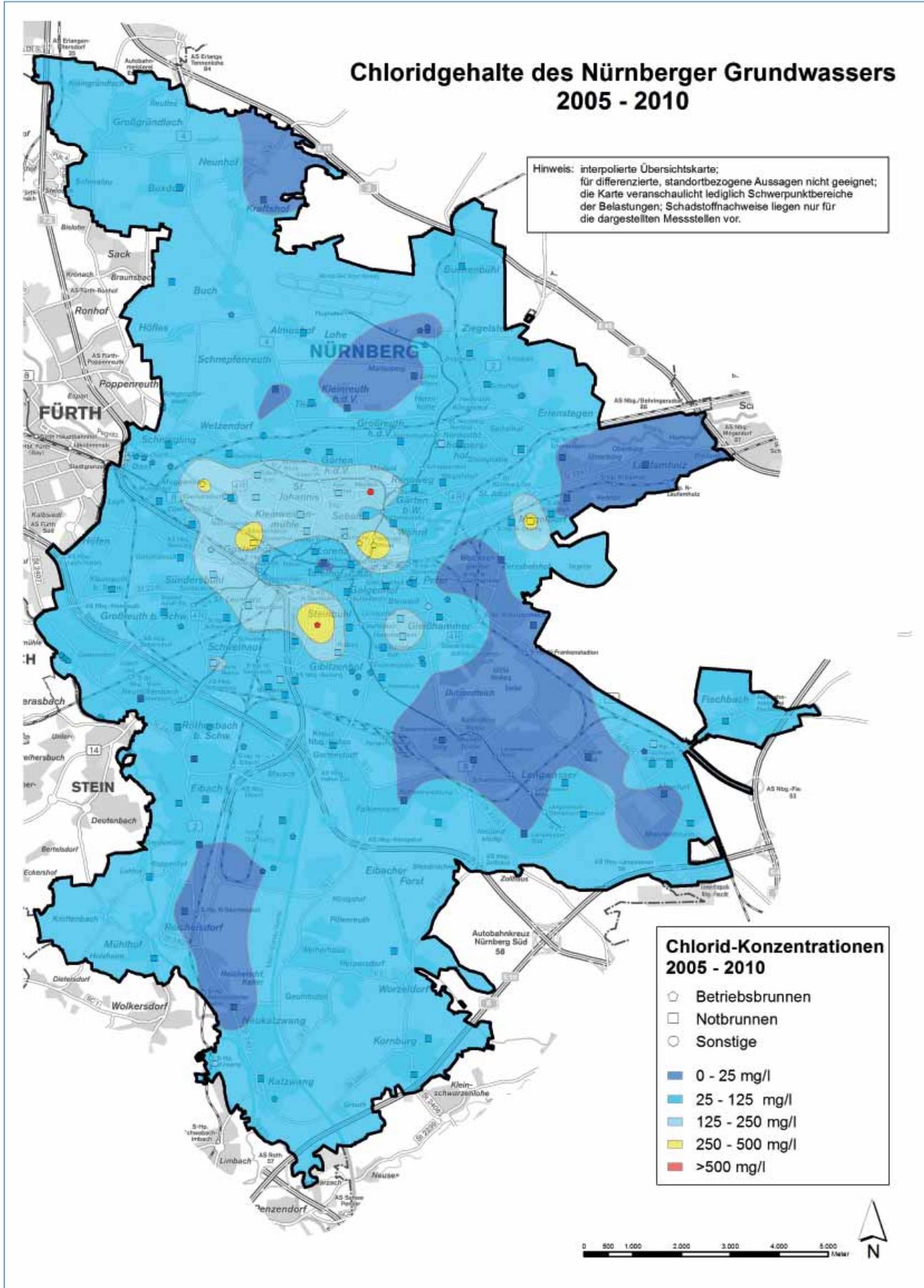
Der oben genannte Grenz- und Schwellenwert von 0,2 mg/l wird von ca. ¼ aller gemessenen Brunnenwasser überschritten.

Fazit

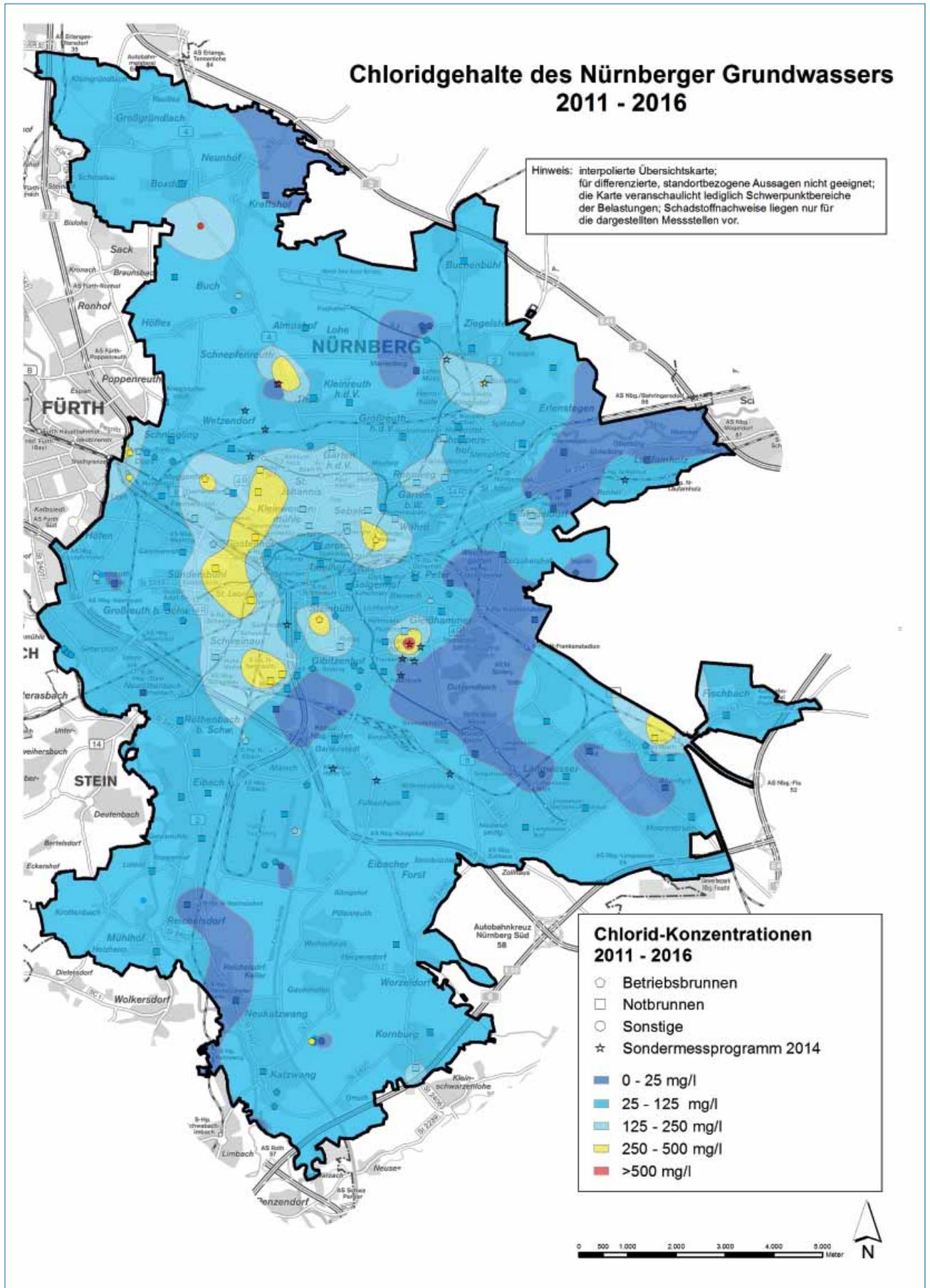
Insgesamt konnte die Grundwasserbelastung durch Schadstoffe weiter reduziert werden. Zu nennen sind hier insbesondere LHKW-Belastungen und mit Einschränkungen auch die Belastungen durch Nitrat.

Es zeigt sich jedoch weiterhin, dass Schadstoffbelastungen im Boden, im tieferen Untergrund und im Grundwasserkörper durch konsequente Erkundung und Sanierung nur mittel- bis langfristig reduziert werden können. Durch nachhaltige Bewirtschaftung und durch Anstrengungen aller Beteiligten ist deshalb sicherzustellen, dass neue Belastungen vermieden bzw. eingedämmt werden (vgl. Kapitel 3.1.5. und 3.1.6.).

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm



Karte 10: Chloridgehalte des Nürnberger Grundwassers im Zeitraum 2005 – 2010
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Karte 11: Chloridgehalte des Nürnberger Grundwassers im Zeitraum 2011 – 2016
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3.1.4. Weitere Parameter - Sondermessprogramm 2014

Im Rahmen des flächendeckenden Grundwassermonitorings wurde 2014 zusätzlich ein Sondermessprogramm durchgeführt. Es diente unter anderem dazu, das vorhandene Grundwassermessnetz in relevanten Bereichen zu verdichten. Darüber hinaus sollten zusätzliche Parameter untersucht werden, um mögliche neuartige oder spezielle Belastungen zu ermitteln. Die hierbei gewonnenen Analyseergebnisse für die jeweils mituntersuchten Leitparameter wurden bereits im Kapitel zu den Hauptuntersuchungsparametern dargestellt (vgl. Kapitel 3.1.3). Die Untersuchungen auf weitere Parameter brachten die folgenden Ergebnisse:

Bor

Bor wird für eine Vielzahl von industriellen Anwendungen eingesetzt. Das Vorkommen von Bor im Grundwasser ist in Nürnberg nicht geogen bedingt und weist auf eine urbane Beeinflussung hin. Ursachen dafür können Deponien oder auch Lecks von Erdwärmesonden sein. Bor gilt nicht als krebserregend oder toxisch, jedoch können bei Konzentrationen ab 100 mg / Tag Vergiftungserscheinungen auftreten. Als Grenzwert der TVO ist 1 mg/l festgelegt. Dieser Wert wird in keiner Messung annähernd erreicht.

Molybdän

Molybdän wird in Legierungen zur Steigerung der Hitzebeständigkeit und Festigkeit von Edelstahl verwendet. Vorkommen von Molybdän im Grundwasser können u.a. auf Grundwasserverunreinigungen durch Erdwärmesonden hinweisen. Wasserlösliche Molybdate sind leicht toxisch. Es gibt keine gesetzlichen Grenz- oder Schwellenwerte für Molybdän. Von der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wurde ein Geringfügigkeitsschwellenwert von 35 µg/l festgelegt [155]. An den insgesamt 27 auf Molybdän analysierten Messstellen erreichten die nachgewiesenen Molybdängehalte im Grundwasser diesen Wert nicht.

Triazole

Derivate von Triazolen werden für Arzneimittel und Pflanzenschutzmittel in Form von Fungiziden verwendet. Zudem kommen sie in den Wärmeträgerfluiden von Erdwärmesonden und in Schmierölen und Schmierstoffen vor. Benzotriazole dienen zudem als Korrosionsschutz von Metallen oder werden in Reinigungstabs für Geschirrspülmaschinen eingesetzt. Die Ursachen für solche Schadstoffvorkommen können somit vielfältig sein. Benzotriazol und Methylbenzotriazole werden zu den NSO-Heterozyklen gezählt. Für die Summe von Benzotriazol und Methylbenzotriazolen hat die Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) einen Geringfügigkeitsschwellenwert von 40 µg/l erarbeitet [154].

In 11 von 19 untersuchten Messstellen wurden entsprechende Schadstoffe in geringfügigen Mengen nachgewiesen. Der Maximalwert lag in Wetzendorf bei 0,33 µg/l.

Die Geringfügigkeitsschwelle wurde somit in allen untersuchten Messstellen unterschritten

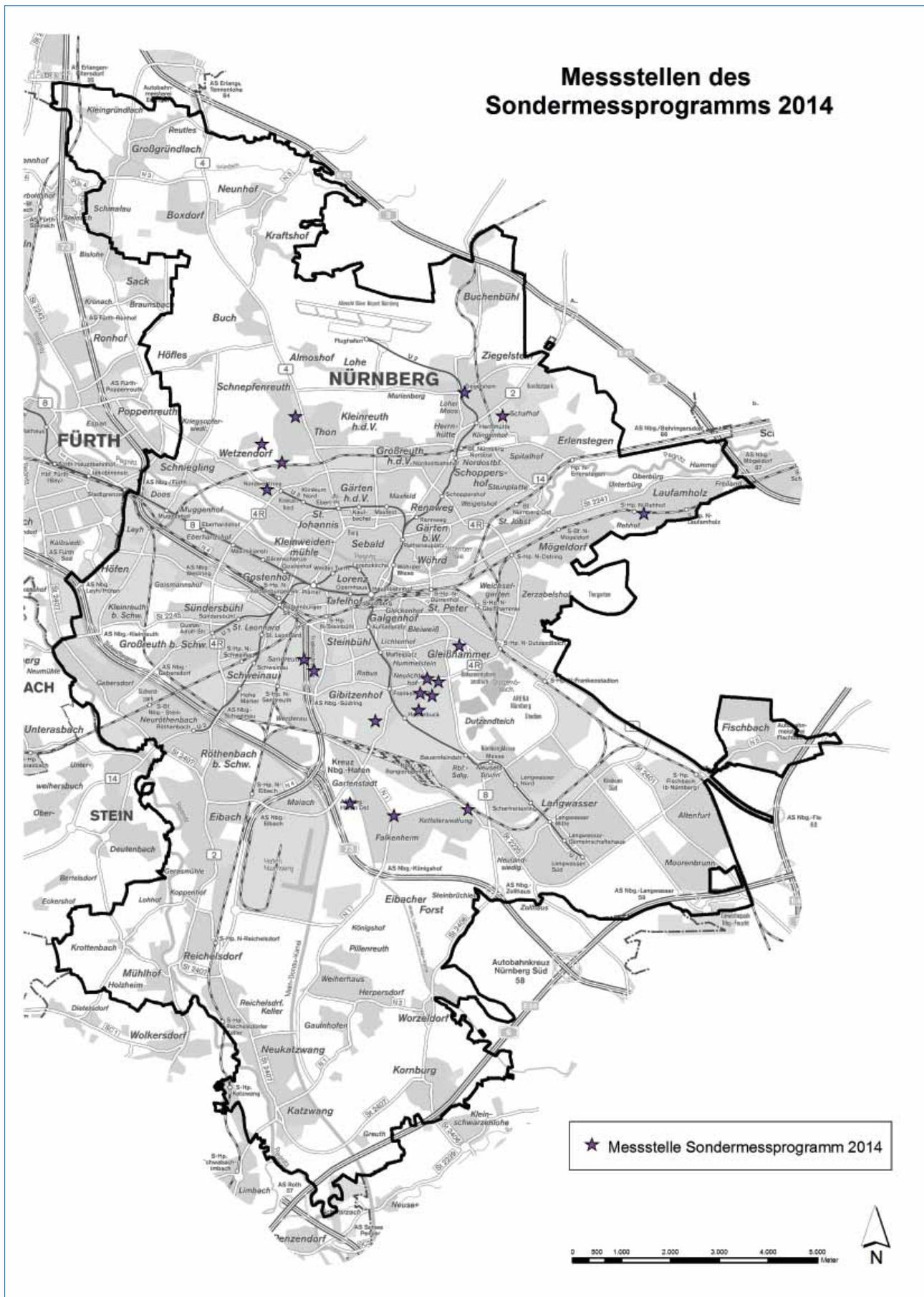
MTBE, ETBE, TAAE

Methyl-tert-butylether (MTBE), Ethyl-tert-butylether (ETBE) und tert-Amylethylether (TAAE), sind Ether und werden als Zusatzstoff in Ottomotoren und als Lösungsmittel in der organischen Chemie verwendet, weswegen dieser Stoff eine größere industrielle Bedeutung hat. Es ist noch nicht genau untersucht, welche Auswirkungen die Aufnahme dieser Stoffe auf den menschlichen Körper hat. Grundwasserverunreinigungen lassen sich häufig auf Altlastenstandorte zurückführen, bei welchen Mineralölkohlenwasserstoffe eine Rolle spielen, so z.B. im Bereich von stillgelegten Tankstellen und Tankanlagen.

Die Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) nennt für die Summe von MTBE, ETBE und TAME einen Geringfügigkeitsschwellenwert von 5 µg/l, davon max. 2,5 µg/l ETBE [155]. In den analysierten Proben des Sondermessprogramms wurden keine Schadstoffe dieser Gruppe nachgewiesen.

Fazit

Die Messstellen des Sondermessprogramms 2014 sind eine gute Ergänzung zum Qualitätsmessnetz des Grundwassermonitoringprogramms. Die Messdichte konnte so erhöht, und Schwerpunktbereiche der Schadstoffbelastungen besser eingegrenzt und ermittelt werden. Die vier Parameter, die zusätzlich gemessen wurden, sind besonders im Rahmen von Altlastenerkundungen und der zunehmenden Nutzung von geothermischen Anlagen von Bedeutung. Positives Ergebnis ist, dass im Messnetz keine erheblich erhöhten Konzentrationen für diese Sonderparameter festzustellen waren.



Karte 12: Messstellen des Sondermessprogrammes 2014 (Datengrundlage: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3.1.5. Gewässerqualität gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Wasserwirtschaftsamt Nürnberg – Dr. Hatice Frühauf)

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) fordert für alle Gewässer, d.h. Fließgewässer, Seen und Grundwasser, den guten Zustand bzw. bei sog. erheblich veränderten Gewässern das gute Potenzial nach Möglichkeit bis 2015 – spätestens bis 2027 - zu erreichen. Um dieses Ziel zu realisieren, werden alle sechs Jahre für ganze Flussgebiete - teils länderübergreifende - Bewirtschaftungspläne mit Maßnahmenprogrammen aufgestellt (zuletzt im Dezember 2015) und deren Erfolg im Rahmen der ebenfalls sechsjährlich durchzuführenden Bestandsaufnahme regelmäßig überprüft (nächstes Mal im Dezember 2019). 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. Wasserkörper bestehen aus einem oder mehreren Gewässern oder Gewässerabschnitten mit gleichartigen Eigenschaften.

Zustand des Grundwassers im Stadtgebiet

Das Gebiet der Stadt Nürnberg liegt überwiegend im Bereich von drei Grundwasserkörpern (GWK) des Sandsteinkeupers:

2_G019 (Sandsteinkeuper – Forst Tennenlohe)

2_G013 (Sandsteinkeuper – Nürnberg)

2_G008 (Sandsteinkeuper – Schwabach)

An den Grundwasserkörpern 2_G007 (Sandsteinkeuper – Heilsbrunn) und 2_G011 (Feuerletten/Albvorland – Hersbruck) hat es ebenfalls einen kleinen Anteil, die Anteile an drei weiteren Grundwasserkörpern im Randbereich sind sehr gering.

Mengenmäßiger Zustand

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

Chemischer Zustand

Zwei der acht Grundwasserkörper (2_G019 und 2_G007) befinden sich nicht im guten chemischen Zustand (vgl. Abbildung 57), da sowohl für Nitrat (vgl. Abbildung 58) als auch PSM-Einzelstoffe (vgl. Abbildung 59) eine Überschreitung der Schwellenwerte vorliegt. Die jahrelange, intensive gärtnerische Nutzung des Knoblauchslandes, das überwiegend innerhalb des 2_G019 liegt, spiegelt sich in der Belastung des Grundwassers wider.

Maßnahmenprogramm

Zur Zielerreichung wurden für beide Grundwasserkörper entsprechende Maßnahmen ins aktuelle Maßnahmenprogramm (Bewirtschaftungsplan 2016-2021) aufgenommen:

- 41: Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge ins Grundwasser durch Auswaschung aus der Landwirtschaft (2_G019 und 2_G007),
- 44: Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen aus anderen diffusen Quellen (2_G019 - Gartenbau),
- 502: Durchführung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben (2_G019 - Gartenbau),
- 504: Beratungsmaßnahmen (2_G019 und 2_G007),
- 508: Vertiefende Untersuchungen und Kontrollen (2_G019).

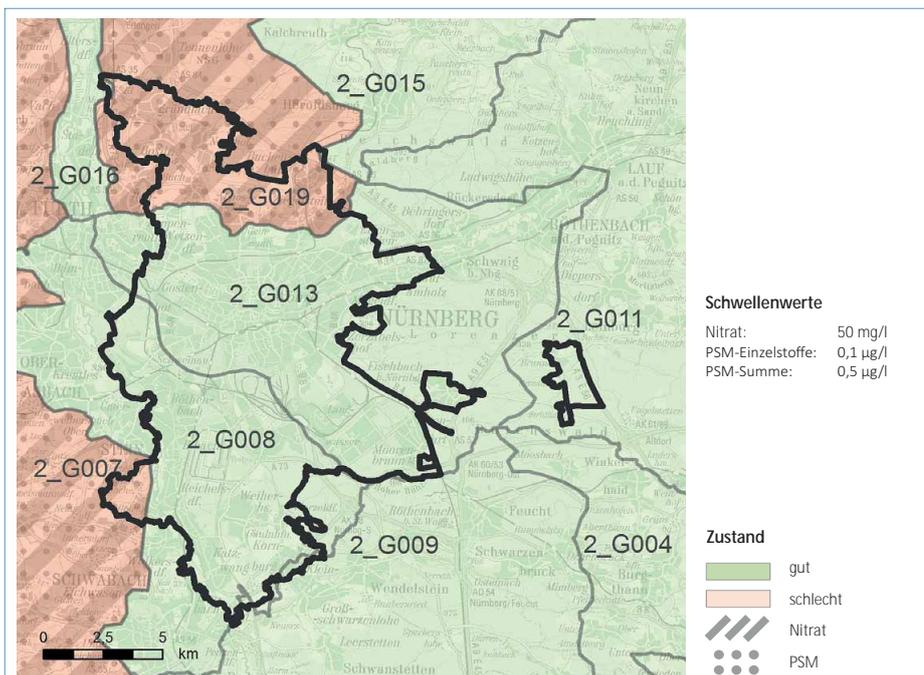


Abbildung 57: Chemischer Zustand des Grundwassers (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

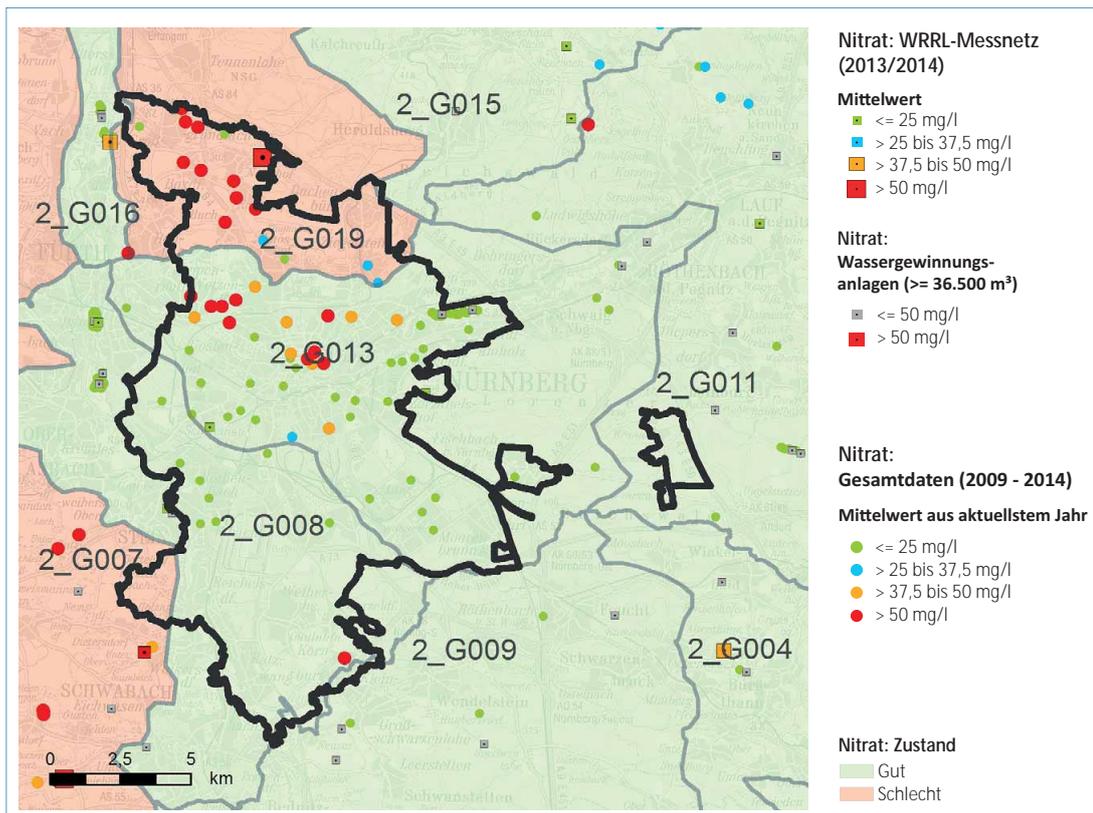


Abbildung 58: Chemischer Zustand des Grundwassers bezüglich Nitrat (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

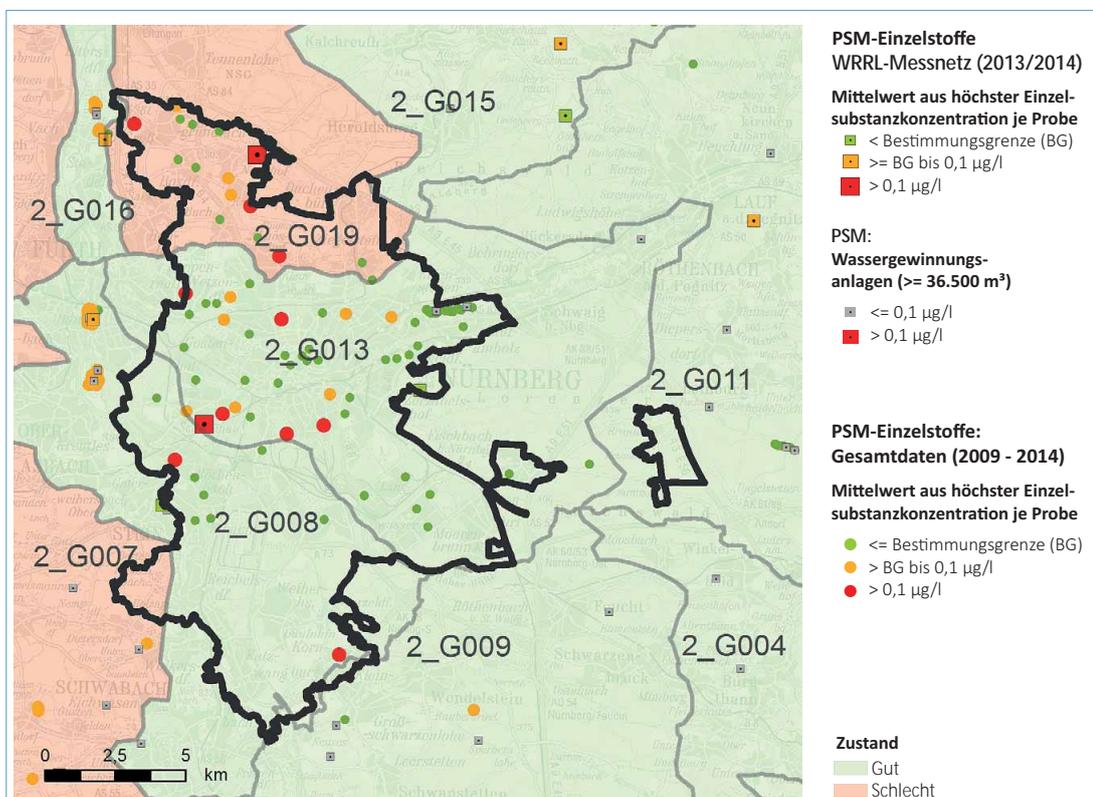


Abbildung 59: Chemischer Zustand des Grundwassers bezüglich Pflanzenschutzmittel (PSM) – Einzelstoffe (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

Insbesondere im Bereich des Erwerbsgartenbaus laufen verschiedene Projekte (konzeptionelle Maßnahmen 508, 502) mit dem Erzeugerring Knoblauchsland, dem Wasserverband, einigen Anbaubetrieben im Speziellen und staatlichen Institutionen, um hieraus sinnvolle Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge ableiten zu können:

- „Nitratkonzept Knoblauchsland“,
- Projekt zur Gründung als Zwischenfrucht,
- „Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau“.

Das Modell- und Demonstrationsprojekt zur Optimierung der Stickstoffdüngung sowie erste Ergebnisse sind im Beitrag „Notwendige Maßnahmen der Landwirtschaft zur Reduzierung der Nitratauswaschung“ in Kapitel 5.1.1. beschrieben.

Weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen aus anderen diffusen Quellen (hier Erwerbsgartenbau vgl. Maßnahme 44) beinhalten z.B.

- die Verwertung der Grüngutabfälle aus Gewächshäusern über eine Kompostierungsfirma,
- „Geschlossene Systeme“ innerhalb des Gewächshausbaus.

Auch nach 2021 sind weitere Maßnahmen für den GWK 2_G019 vorgesehen:

- 44: Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen aus anderen diffusen Quellen
- 508: Vertiefende Untersuchungen und Kontrollen

Zielerreichung

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

Zustand der Fließgewässer im Stadtgebiet

Die Stadt Nürnberg hat Anteil an 11 Oberflächenwasserkörpern (OWK), von denen fünf als natürlich, fünf als (durch den Menschen) erheblich verändert und einer als künstlich eingestuft sind. Den künstlichen OWK bildet der Main-Donau-Kanal (2_F033). Zu den erheblich veränderten OWK gehören im Süden die Rednitz-Nebengewässer des OWK 2_F031, im innerstädtischen Bereich der Rednitzabschnitt OWK 2_F016 und der Pegnitzabschnitt OWK 2_F038, die Pegnitzzuflüsse ab Wöhrder See (OWK 2_F043) sowie die Unterläufe der Regnitz-Nebengewässer im Norden und der Bucher Landgraben, zusammengefasst im OWK 2_F049.

Chemischer Zustand

Alle Flusswasserkörper befinden sich im chemisch nicht guten Zustand, da die Umweltqualitätsnorm für Quecksilber in Biota (Fische) überschritten wird.

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

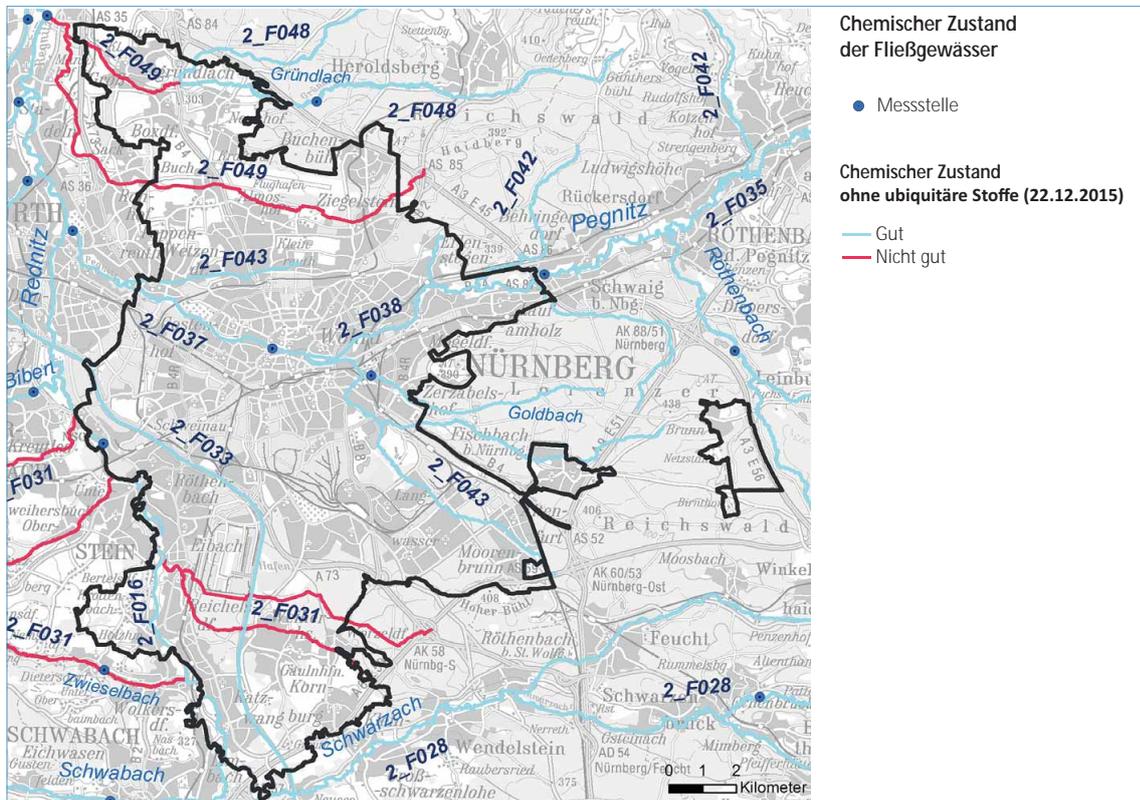


Abbildung 60: Chemischer Zustand der Fließgewässer (ohne ubiquitäre Stoffen)
(Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

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.

Bei der Betrachtung ohne ubiquitäre Stoffe zeigt sich ein differenzierteres Bild (Abbildung 60). Die meisten OWK sind demnach im chemisch guten Zustand. Allerdings wird in den OWK 2_F031 mit Rednitz-Nebengewässern im Süden des Stadtgebietes sowie 2_F049 mit östlichen Zuflüssen der Regnitz die Umweltqualitätsnorm von 50 mg/l für Nitrat deutlich überschritten. Die Einzugsgebiete der belasteten Gewässer(teile) liegen überwiegend im Bereich der ebenfalls mit Nitrat belasteten Grundwasserkörper.

Ökologischer Zustand

Der gute ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial wird bislang in keinem der Oberflächenwasserkörper erreicht.

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. Die Komponenten Fische und Makrozoobenthos zeigen Defizite bei Struktur und Durchgängigkeit (Pegnitz und ihre Nebengewässer, Rednitzzuflüsse zwischen Schwarzach und Bibert). Das Makrozoobenthos indiziert zusätzlich organische Belastungen (Saprobie: 2_F049, 2_F043, 2_F031). Makrophyten und Phytobenthos sowie in eutrophen Gewässern die Komponente Phytoplankton dienen als Indikator für Nährstoffbelastungen (alle OWK außer den Pegnitzzuflüssen im 2_F042).

Viele Fließgewässer weisen Defizite sowohl bei der Struktur / Durchgängigkeit als auch insbesondere durch Nährstoffbelastungen auf. Auch bezüglich der organischen Belastungen haben noch nicht alle Gewässer den guten Zustand erreicht.

Maßnahmenprogramm

Maßnahmen zur Zielerreichung orientieren sich an den an jedem OWK ermittelten Belastungen und reichen auch über das aktuelle Maßnahmenprogramm (Bewirtschaftungsplan 2016-2021) hinaus. Synergien mit Natura 2000 und / oder Hochwasserschutzmaßnahmen sind im Maßnahmenprogramm berücksichtigt.

Neben konzeptionellen Maßnahmen, die sowohl zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in Grundwasser und Fließgewässer beitragen können (s. Abschnitt Grundwasser), wurden in einigen OWK landwirtschaftliche Maßnahmen (außerhalb des Gartenbaus) und insbesondere Maßnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit und Struktur mit dem Ziel der Vernetzung und Verbesserung der Lebensräume (Habitate) aufgenommen, z.B.:

- 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 Strömungskernen, Auenentwicklung fördern.

Daneben sind auch andere Bereiche, wie die Reduzierung der Phosphor-Einträge aus Kläranlagen durch optimierende Betriebsweisen und ggf. notwendige Umbauten als auch Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge von Freizeit- und Erholungsaktivitäten in das Maßnahmenprogramm eingeflossen.

Die einzelnen Maßnahmen der jeweiligen OWK sind im Bewirtschaftungsplan 2016-2021 bzw. dem dazugehörigen Maßnahmenprogramm aufgeführt und im Internet abrufbar (<https://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/index.htm>). Über den UmweltAtlas Bayern (gleicher Zugang) können auch weitere Informationen zum Zustand der bayerischen Gewässer abgerufen und kartografisch dargestellt werden.

Zielerreichung

Der gute Zustand / das gute Potenzial der Oberflächenwasserkörper wird nach derzeitiger Einschätzung voraussichtlich bis 2027 erreicht.

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

3.1.6. Grundwasserbelastungssituation im Knoblauchsland – Untersuchungsaktionen des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg

(Wasserwirtschaftsamt Nürnberg – Hans Splitgerber)

Seit dem letzten Grundwasserbericht im Jahr 2011 wurden durch das staatliche Wasserwirtschaftsamt Nürnberg im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht die lang-jährigen, seit 1983 laufenden, Nitratuntersuchungen des Grundwassers fortgeführt und ergänzende Untersuchungen an Dränagen durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Großteil der Brunnen auf Pflanzenschutzmittel und -abbauprodukte (Metabolite) analysiert.

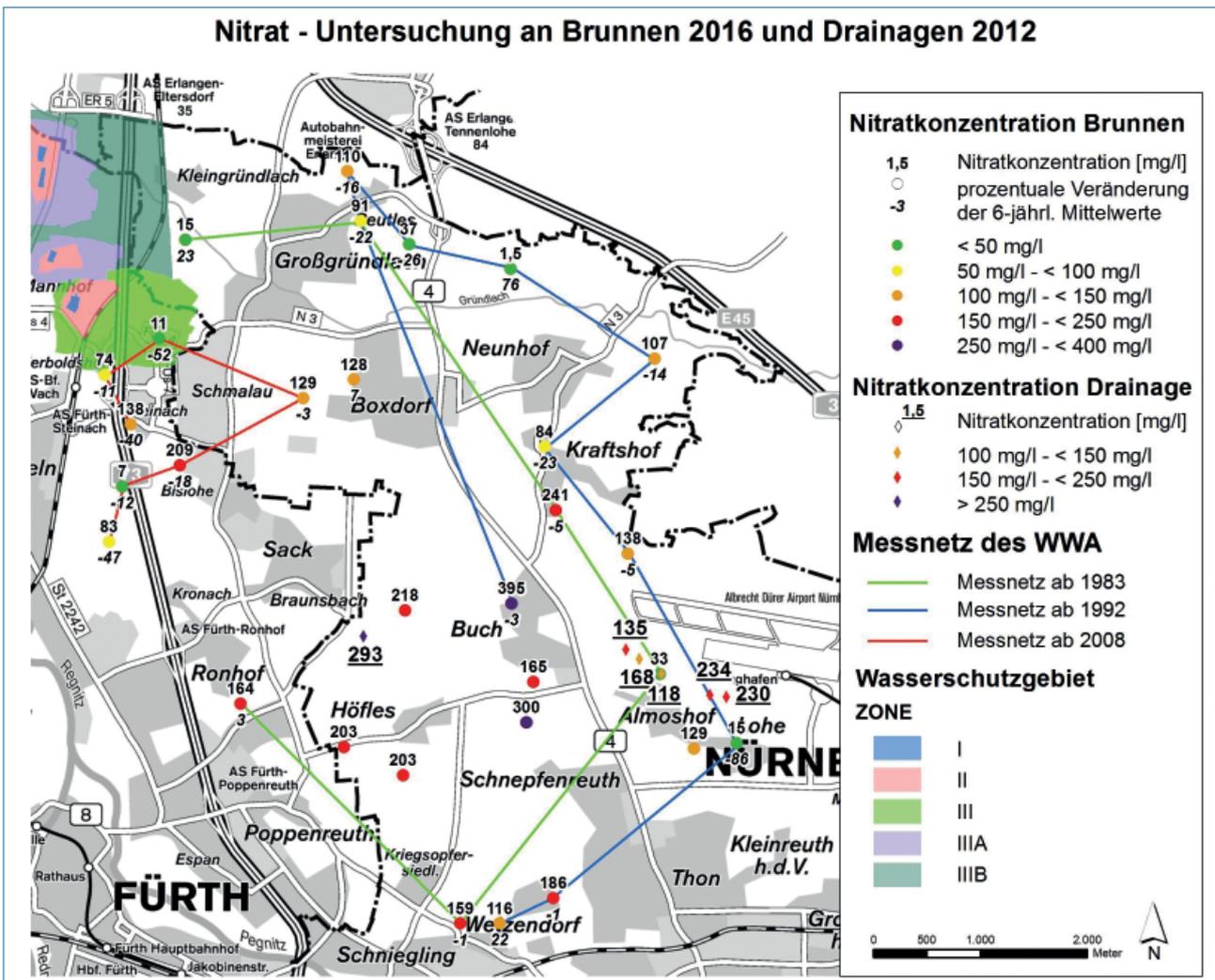
Verteilung der Nitratbelastungen im Grundwasser

Die Nitratbelastungen des Grundwassers im Knoblauchsland wurden durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg fortlaufend dreimal jährlich an 24 Berechnungsbrunnen untersucht. Auf eine Verdichtung des Messnetzes wie im Jahr 2009 musste aus Kapazitätsgründen diesmal verzichtet werden.

In Karte 13 sind die Nitratbelastungen im Jahr 2016 dargestellt:

- Das Messnetz des Wasserwirtschaftsamtes ist durch Linien markiert.
- Die unterhalb der Messpunkte angegebene Zahl entspricht der zeitlichen, prozentualen Veränderung der sechsjährigen Mittelwerte der Nitratbelastungen, auf die nachfolgend noch näher eingegangen wird.
- Für das Jahr 2016 werden auch ergänzende Nitratuntersuchungen des Wasserverbandes Knoblauchsland und eines Industriebrunnens in Buch mit einbezogen (Punkte außerhalb der Linien).

Es ist erkennbar, dass die Nitratbelastungen im Kernbereich des Knoblauchslands immer noch in einer Größenordnung von ca. 100 - 250 mg/l liegen und damit der Zielwert der Wasserrahmenrichtlinie von 50 mg/l großflächig deutlich überschritten wird.



Karte 13: Ergebnisse der Nitratuntersuchungen an Brunnen 2016 und Drainagen 2012 (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

Die Hauptbelastung liegt nach wie vor im Bereich Buch, wo die Nitrat-Werte im hier untersuchten, 28,5 m tiefen Beregnungsbrunnen nach einer vorherigen, langsamen Abnahme überraschend und unerklärlich auf ein neues Höchstniveau von knapp 400 mg/l gestiegen sind. Die zugehörige Entnahme lag hier in den letzten Jahren unverändert bei ca. 1500 - 2000 m³. Hier müssen weitere Untersuchungen zeigen, ob es sich um einen „Ausreißer“ oder tatsächlich um eine nachhaltige Trendumkehr handelt.

Im Vergleich dazu lagen die Nitratbelastungen des im Süden von Buch gelegenen, 60,5 m tiefen Industriebrunnens, bei einer Jahresentnahme von knapp 73.000 m³, unverändert bei rund 165 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. Wie stark die Nitratbelastungen des Grundwassers mit der Tiefe abnehmen, lässt sich mangels geeigneter, in verschiedenen Horizonten verfilterter Brunnen nicht beurteilen.

Sonderuntersuchung von Drainagen 2011-2012 und Untersuchung des Bucher Landgrabens 2014

Ergänzend wurden im Jahr 2011-2012 durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg aus 6 in den Bucher Landgraben abfließenden Drainagen jeweils bis zu 8 Proben auf Nitrat untersucht.

Die Mittelwerte der Untersuchungen sind in Karte 13 als Rautesymbole gekennzeichnet. Die abfließenden Wassermengen lagen zwischen 0,1 - 7,5 l/s, wobei sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Wassermenge und Nitratbelastung ergab.

Die Untersuchungen zeigen sehr hohe Nitratbelastungen des oberflächennahen Sickerwassers aus dem Bereich der oberen Bodenzone von 118 - 293 mg/l auf. Die Belastungen liegen damit im Wesentlichen in der gleichen Größenordnung wie im Grundwasser.

Wieviel dieser Belastung durch langfristig gespeichertes und im Boden gebundenes Nitrat oder durch einen Neueintrag über Düngung etc. in das Sickerwasser gelangt, lässt sich nur schwer beurteilen.

Am 03.12.2014 wurden die Nitratbelastungen des Bucher Landgrabens an 12 Stellen untersucht, wobei von 0,9 mg/l Nitrat (oberhalb Ziegelstein) auf 92,6 mg/l Nitrat (Wegbrücke Herboldshof) ansteigende Belastungen festgestellt wurden. Diese Belastungen stammen überwiegend aus zulaufenden Drainagen und stimmen in der Größenordnung mit Untersuchungen aus den Jahren 2008-2010 überein.

Zeitliche Entwicklung der Nitratbelastungen

Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte der Nitratbelastungen im Grundwasser an den einzelnen Brunnen ist in Abbildung 61 erkennbar.

Zur Illustration der eintretenden Veränderungen an den einzelnen Messstellen werden in Abbildung 62 die Veränderungen der Nitratmittelwerte der Messreihen von 2011-2016 im Vergleich zum Zeitraum von 2005-2010 in mg/l und prozentual dargestellt.

An einem Großteil der untersuchten Brunnen ist eine stagnierende bis leicht fallende und in wenigen Fällen auch eine nicht erklärbare, stark fallende Tendenz erkennbar. Ein positiver Einfluss der 2004 begonnenen Wasserbeileitung ist erkennbar.

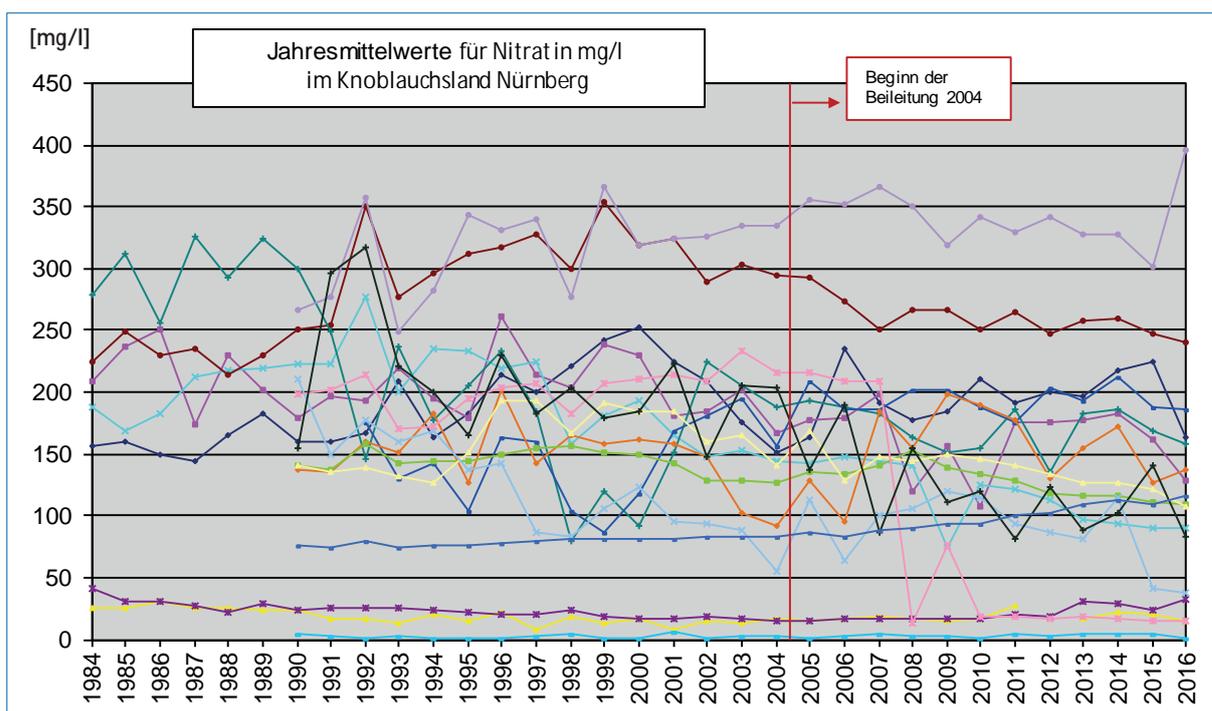


Abbildung 61: Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Knoblauchsland von 1984 -2016 (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

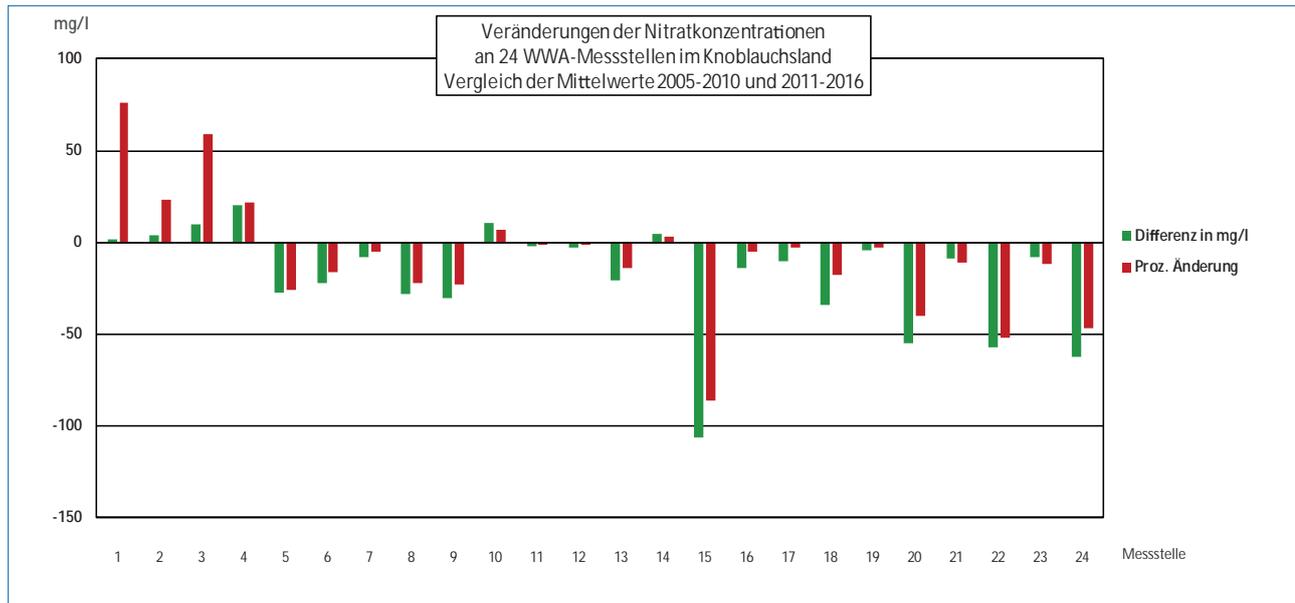


Abbildung 62: Veränderungen der Nitratkonzentrationen an Messstellen im Knoblauchsland (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

Auch in den im Zustrom zu den Wasserschutzgebieten gelegenen Brunnen zeigen sich überwiegend stagnierende bis abnehmende Belastungen. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass es bei zwei Brunnen durch Wasserhaltungen bei Baumaßnahmen zu vorübergehenden Konzentrationsabnahmen kam, die das Ergebnis verzerren. Die weitere Entwicklung bleibt hier abzuwarten.

In einem 30 m tiefen, im Fels verfilterten Beregnungsbrunnen im Bereich Almoshof sind die Werte seit 2008 von gut 200 mg/l auf knapp 20 mg/l gesunken. Es könnte sein, dass dies mit den Änderungen in der Agrarstruktur im Umfeld zusammenhängt. Die jährliche Entnahme blieb unverändert in der gleichen Größenordnung von ca. 1-2 Tsd. m³.

Besonders zu erwähnen ist die Entwicklung der Nitratbelastungen in dem bereits erwähnten, von 17,5 – 58,5 m verfilterten Industriebrunnen in Buch (vgl. Abbildung 63). Hier zeichnet sich seit 2001 eine langsame Abnahme der Nitratbelastungen ab, was in Anbetracht einer jährlichen Fördermenge von rund 70.000 – 80.000 m³ und der Verfilterung über den gesamten Aquifer bis zu den Estherienschiefern repräsentative Aussagen zu Nitratbelastungen im Einzugsbereich erlaubt.

Entgegen dem allgemeinen Trend ist lokal im Bereich Wetzendorf eine langsame, aber beständige Zunahme der Nitratbelastung festzustellen.

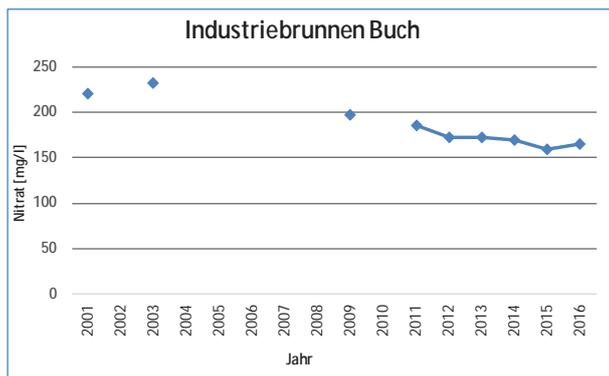
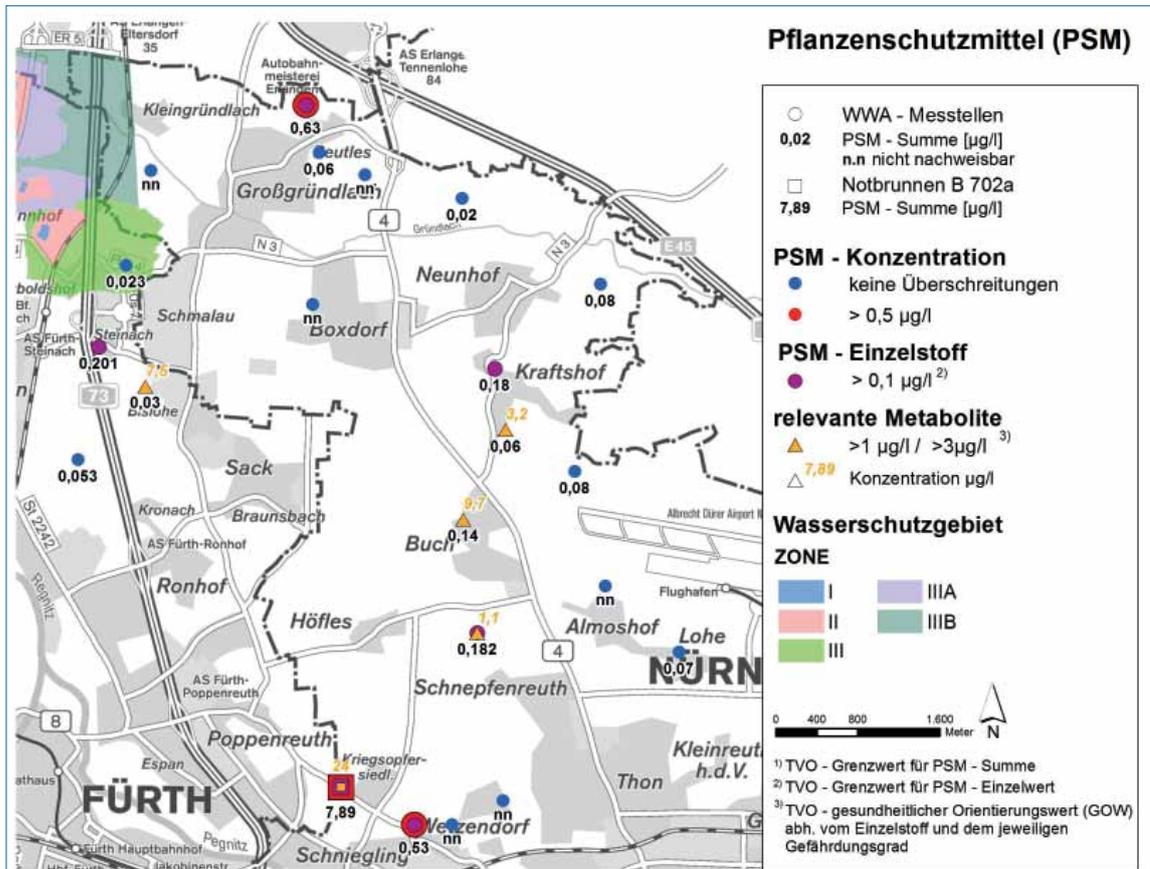


Abbildung 63: Entwicklung Nitratkonzentration in Buch (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)



Karte 14: Ergebnisse der Pflanzenschutzmitteluntersuchungen: Sonderuntersuchungen 2011 und 2013; Reihenuntersuchungen 2016 (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

Pflanzenschutzmittelbelastungen

Im September 2016 wurden durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg 21 Beregnungsbrunnen auf relevante und mit vertretbarem Aufwand analysierbare Pflanzenschutzmittel und Metabolite untersucht. Die Parameterauswahl erfolgte dabei auf Basis des mit dem LfU abgestimmten PSM-Konzept für Wasserschutzgebiete, so dass insgesamt 78 Stoffe erfasst wurden. Ergänzend wurde noch auf vier Chloridazon- und Metazachlormetabolite untersucht.

An drei ausgewählten Brunnen wurden außerdem in 2011 und 2013 im Rahmen eines Sonderuntersuchungsprogrammes der Parameterumfang deutlich erweitert (gesamt 120 Parameter) und neben PSM auch deren Abbauprodukte (Metabolite) verstärkt untersucht. Beim Notbrunnen 702a wurde 2013 außerdem ein 36-stündiger Pumpversuch incl. Probennahme durchgeführt. Die Ergebnisse der Sonderuntersuchungen sowie der Reihenuntersuchung 2016 sind in Karte 14 dargestellt.

Dabei wurden die Pflanzenschutzmittel nach dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung bewertet und die relevanten Metabolite (Abbauprodukte der Pflanzenschutzmittel) nach den Gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW) gemäß Empfehlung des Umweltbundesamtes [[147]; [148]].

Bei 6 Brunnen wurden Überschreitungen der TVO-Werte festgestellt, wobei drei Überschreitungen des Summenwertes und sechs Überschreitungen des Einzelwertes für sechs Wirkstoffe festgestellt wurden.

Bei 5 Brunnen wurden teils erhebliche Überschreitungen des GOW-Wertes für Metabolite ermittelt. Insbesondere wurden wieder teils sehr hohe Belastungen mit Metazachlormetaboliten vorgefunden.

Die Sonderuntersuchung auf Glyphosat und AMPA (Aminomethylphosphonsäure, Hauptabbauprodukt des Breitbandherbizids Glyphosat) ergab keine nachweisbaren Belastungen.

Die meisten Brunnen sind ca. 30 - 60 m tief und erst im Sandstein verfiltert, so dass davon auszugehen ist, dass die Belastungen bereits in größere Tiefen vorgedrungen sind.

Es bestätigt sich, dass teils sehr hohe Belastungen mit relevanten Metaboliten auftreten, die bis zu einigen 10 µg/l reichen können (Sonderuntersuchungsaktion 2011 bei BA16 – Buch Süd und BA30 – Schniegling).

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

Besonders hinzuweisen ist auf die Ergebnisse des 36-stündigen Pumpversuchs bei dem Notbrunnen B702a. Während des Pumpversuchs im Mai 2013 wurden hier sehr hohe, leicht abnehmende Pflanzenschutzmittelbelastungen zwischen 9,51 µg/l und 6,66 µg/l vorgefunden, die sich auch bei späteren Nachuntersuchungen im Juli 2013 bestätigten.

Zusätzlich wurden hier rund 24 µg/l relevante Mebabolite festgestellt. Der Brunnen ist mit Unterbrechungen von 12-60 m im Sandstein verfiltert, so dass bei der hohen Förderate von 6-12 l/s von erheblichen Belastungen im tieferen Sandstein auszugehen ist. Besonders erstaunlich ist, dass bei der Untersuchung im Jahr 2009 mit 0,61 µg/l deutlich niedrigere Belastungen festgestellt wurden.

Die Belastung ist hauptsächlich auf Metazachlor(-metabolite) zurückzuführen. Im Umfeld des Brunnens sollten hier in Zusammenarbeit mit dem Amt für Landwirtschaft und dem Erzeugerring weitere Anstrengungen zur Reduzierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln unternommen werden.

Sicherung des Benkersandsteins als Trinkwasservorrat

Durch den erfolgten Rückbau ursprünglich mischverfilterter (Beregnungs-)Brunnen im Knoblauchsland wird der Benker Sandstein dauerhaft vor anthropogenen Schadstoffeinträgen geschützt. Dadurch befindet sich dieser quantitativ und qualitativ in einem guten Zustand und ermöglicht für die Zukunft eine nachhaltige Förderung von hochwertigem Trinkwasser.

Zusammenfassende Bewertung und Folgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen im größten Teil des Knoblauchslandes nach wie vor sehr hohe und weit über dem Zielwert der Wasserrahmenrichtlinie von 50 mg/l liegende Nitrat-Belastungen auf. Durch die erstmalige Erfassung der oberflächlichen Drainagen wird deutlich, dass das anfallende Sickerwasser in einer ähnlichen Größenordnung wie das tiefere Grundwasser mit Nitrat belastet ist.

Die Hauptbelastung liegt unverändert im Bereich Buch, wo 2016 im untersuchten Beregnungsbrunnen nach einer vorherigen langsamen Abnahme überraschend ein neues Höchstniveau von knapp 400 mg/l gemessen wurde.

In einigen Bereichen des Knoblauchslandes zeichnen sich bereits langsam abnehmende Nitratbelastungen ab. Dies gilt auch für das zu den Wasserschutzgebieten abströmende Grundwasser.

Zur nachhaltigen Reduzierung des Stickstoffeintrags in Boden und Grundwasser sind weitere intensive Anstrengungen aller beteiligten Partner zu unternehmen. Zur Förderung des Austausches sollten regelmäßige Treffen organisiert werden.

Aufgrund der hohen Speicherkapazitäten der Böden für Nitrat und der geringen Durchlässigkeit und Grundwasserfließgeschwindigkeit ist nur mit einer langfristigen Verbesserung der Belastungssituation zu rechnen.

Im Grundwasser wurden vereinzelt Rückstände von Pflanzenschutzmitteln festgestellt, aber es ergibt sich noch kein konsistentes Bild. Die weitere Entwicklung ist zu beobachten.

Ausblick

Das Messnetz des Wasserwirtschaftsamtes 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.

3.1.7. Grundwasseruntersuchungen durch das Labor des Eigenbetriebes Stadtentwässerung und Umweltanalytik der Stadt Nürnberg

Grundwasser ist als wichtige Lebensgrundlage dauerhaft zu schützen, zum einen vor maßgeblichen Verunreinigungen und zum anderen vor Übernutzung. Zur Beurteilung, ob das Grundwasser in einem guten chemischen und mengenmäßigen Zustand ist, werden städtische und staatliche Messprogramme und Monitoringmaßnahmen durchgeführt.

Die häufigsten Auslöser für Grundwasser-Untersuchungen im städtischen Umfeld sind:

- Probenahmen und Immissions-Pumpversuche zur Altlastenerkundung
- Planung und Überwachung von GW-Sanierungsmaßnahmen
- Grundwasserableitungen in Vorfluter
- Einleitungen in die Kanalisation
- routinemäßige Überwachungen von aktiven Deponien
- Nachsorge von rekultivierten Deponien bzw. Monitoring an Altablagerungen
- Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030 (Betonaggressivität) im Zuge von Baumaßnahmen
- Untersuchungen von Brauchwasser- und Notwasserbrunnen.

Im Stadtgebiet Nürnberg wurden z.B. im Zusammenhang mit den Vorplanungen für den kreuzungsfreien Ausbau des Frankenschnellwegs seit 2015 durch die Umweltanalytik Nürnberg umfangreiche Grundwassererkundungen mittels Immissions-Pumpversuchen im Auftrag des städtischen Eigenbetriebs Servicebetrieb Öffentlicher Raum (SÖR) durchgeführt.

Zweck der, von Kurzzeitpumpversuchen mit wenigen Stunden Pumpdauer bis zu mehrtägigen Pumpversuchen reichenden, Untersuchungen ist die nähere Erkundung von bekannten oder vermuteten Grundwasserverunreinigungen im Hinblick auf die Lage und Ausdehnung und / oder die Ausprägung der Schadstoffeinträge.

Die Umweltanalytik Nürnberg verfügt über ein modernes Messsystem, eine sogenannte „Pump Box“, zur kontinuierlichen und zeitlich hochauflösenden Erfassung und Speicherung der relevanten physikalischen und chemischen Parameter während der Grundwasserförderung.

Die Messeinheit mit einem Multidatenlogger und Sensoren für pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Wassertemperatur, Fördermenge und Wasserstände ermöglicht eine lückenlose Verfolgung der Grundwasserförderung und der Zustandsänderungen im Zuge von Probenahmen oder bei Pumpversuchen.

Bei der Beprobung von Grundwassermessstellen oder Brunnen ergeben sich aus der kontinuierlichen Aufzeichnung der Vor-Ort-Parameter in Verbindung mit sensorischen Prüfungen (Färbung, Trübung, Geruch) Hinweise zur Veränderung der Wasserqualität in der Vorpumpphase und damit relevante Informationen über den richtigen Probenahmezeitpunkt. Dieser ist dann gegeben, wenn das in der Messstelle bzw. im Brunnen stehende Grundwasser sicher ausgetauscht wurde und das geförderte Wasser qualitativ dem umgebenden Grundwasserkörper entspricht (d.h. wenn pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Temperatur vor der Probenahme ca. 5 Minuten lang annähernd konstante Messwerte liefern).

Zur Vermeidung von Veränderungen der Wasserproben während des Transportes bis zur Analytik werden diese bei Bedarf vor Ort filtriert oder konserviert. Zudem werden Blindwertproben zur Erkennung von Querkontaminationen mitgeführt.



Abbildung 64: Pump Box (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)



Abbildung 65: Einsatz der Pumpbox bei einem Immissions-Pumpversuch (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

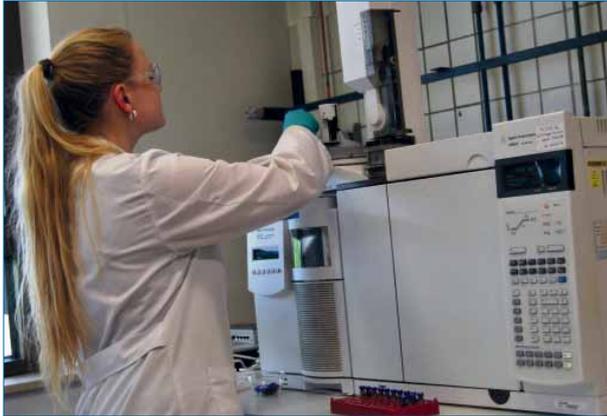


Abbildung 66: Messgerät (GC/MSD) zur Bestimmung von Chlorphenolen (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)



Abbildung 67: Messgerät (CFA) zur Bestimmung von Cyaniden und Phenolindex. (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)

Je nach Fragestellung und Anlass der Grundwasseruntersuchung sind neben den Vor-Ort-Parametern weitere Standardparameter und unterschiedliche weitere Parameter aus einer großen Bandbreite von Wasserinhalts- und Schadstoffen zu ermitteln. Diese werden im Chemischen Labor mittels verschiedenen Methoden analysiert.

Laboranalytik bei SUN bedeutet:

- Untersuchung von 200 akkreditierten Parametern (teilweise notifiziert)
- Einsatz hochmoderner Analysengeräte
- Qualifiziertes und geschultes Laborpersonal
- Nachvollziehbare, qualitätsgesicherte Ergebnisse

Die Analytik für die anorganischen Parameter erfolgt im Wesentlichen mit folgenden Analysetechniken:

- Titrierstationen (Calcium, Magnesium, Säure-/Basenkapazität, Permanganat-Index)
- Fließinjektionsanalytik, Photometer (Ammonium, Phosphat, Färbung)
- Ionenchromatographie (Chlorid, Nitrit, Nitrat, Sulfat)
- ICP-OES, ICP-MS, Hg-Analysator (20 Metalle)
- TOC-Analysator (DOC).

Im Bereich der organischen Parameter kommen prinzipiell chromatographische Analysensysteme (Flüssigchromatographie (LC) und Gaschromatographie (GC)) mit unterschiedlichen Detektionssystemen zum Einsatz. Neben der analytischen Herausforderung Bestimmungsgrenzen im Spurenbereich (ng/l) zu erzielen, müssen häufig Matrixstörungen (z.B. Mineralölkohlenwasserstoffe) durch spezielle Reinigungsschritte eliminiert werden.

In den letzten Jahren wurden folgende Analysetechniken etabliert:

- GC/ECD (PCB)
- GC/MS (Chlorphenole, Chlorbenzole, LHKW, BTEX, Ether, MKW)
- HPLC (18 PAK, Komplexbildner, 23 Pflanzenschutzmittel)
- LC/MS (36 Arzneimittel, Benzotriazole, 10 PFT und einige Vorläuferverbindungen)

Die Akkreditierung der Umweltanalytik Nürnberg nach DIN EN ISO 17025 und die Notifizierung der Fachmodule Wasser und Boden garantieren eine qualifizierte, qualitätsgesicherte Durchführung von Untersuchungen von der Planung über Probenahme und Analytik bis zur Beurteilung der Analyseergebnisse.

3.2. Grundwasserquantität im Stadtgebiet

3.2.1. Erhebung der Grundwasserstände im Stadtgebiet von Nürnberg

Zur Erhebung von Grundwasserständen gibt es grundsätzlich eine Vielzahl von Anlässen. Hierbei sind in erster Linie Planungen von Baumaßnahmen und Grundwassernutzungen zu nennen. Grundwasserstände werden daher in der Regel zeitlich und räumlich begrenzt erhoben. Ein Gesamtüberblick über erhobene Grundwasserdaten und vorhandene Grundwasser- sowie Untergrundaufschlüsse, die im Rahmen städtischer Planungen oder behördlichen Verwaltungshandelns gesammelt, erstellt oder bekannt werden, wird mit dem ämterübergreifenden Projekt „Bohrungskatalog“ verfolgt.

Mit dem Grundwasserbericht 2000 wurde seitens des Umweltamtes begonnen, die Daten zur quantitativen Grundwassersituation digital zu erfassen und auszuwerten. 2009/2010 wurde dann für die konsequente, regelmäßige und flächendeckende Beobachtung der Grundwasserstände durch das Umweltamt in Zusammenarbeit mit der Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN) ein eigenes Grundwassermessnetz eingerichtet und ab Ende 2012 durch ein Datenloggermessnetz, welches Grundwasserstände an unterschiedlichen Stellen im Stadtgebiet kontinuierlich aufzeichnet, ergänzt. Die Erkenntnisse aus diesen Überwachungsmaßnahmen werden in Form von Grundwasserkarten und der Auswertung der Grundwasserganglinien im Folgenden vorgestellt.

Zu Beobachtung bzw. Auswertung von Grundwasserstandsänderungen werden langjährige, mindestens 30-jährige Zeitreihen benötigt. Leider liegen solche langjährigen, täglichen oder monatlichen Grundwasserstandsmessungen im Stadtgebiet nicht vor. Jedoch kann zur Beobachtung der Entwicklungen auf halbjährliche Wartungsdaten der Notwasserbrunnen zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 3.2.3.).

Der Bohrungskatalog

Im Stadtgebiet Nürnberg sind im sogenannten Bohrungskatalog mehr als 3000 Grundwassermessstellen und zahlreiche weitere Bohraufschlüsse registriert. Sie liefern zum einen Hinweise zum Untergrundaufbau und der geologischen Schichtenabfolge, zum anderen sind, soweit bekannt und erfasst, einzelne Grundwasserstandsdaten abrufbar. Viele der dort registrierten Grundwassermessstellen sind aus verschiedenen Gründen nicht mehr vorhanden (z.B. rückgebaut) oder nicht mehr nutzbar, d.h. sie müssten für aktuelle Messungen erst saniert werden. Die konsequente Erfassung und regelmäßige Aktualisierung des Zustandes der Messstellen, die Überwachung und der Erhalt bzw. Rückbau von Grundwassermessstellen bleibt eine große, bisher nicht abschließend gelöste Aufgabe für die Stadtverwaltung.

Das Grundwassermessnetz der Stadt Nürnberg

Für Nürnberg wurde zur Beobachtung der Grundwasserstände in den Jahren 2009 / 2010 ein, vom Qualitätsmessnetz unabhängiges, Messnetz entwickelt, welches aus ca. 200 geeigneten, bereits vorhandenen Grundwassermessstellen, die möglichst gleichmäßig im Stadtgebiet verteilt sind, besteht (näheres siehe Grundwasserbericht 2011 [1]). Dieses Messnetz wird durch die Stadtentwässerung und Umweltanalytik mittels Begehung inklusive Wasserstands- sowie Temperaturmessungen im Drei-Jahres-Rhythmus überwacht. Dabei muss immer wieder festgestellt werden, dass einige der Messstellen durch unsachgemäßen Umgang oder aber auch aufgrund anstehender Baumaßnahmen und damit verbundenem Rückbau nicht mehr zur Verfügung stehen. So waren in den letzten 6 Jahren für 11 Messstellen Alternativ-Messstellen zu ermitteln und festzulegen (aktualisiertes Grundwassermessnetz, vgl. Karte 15).

Bei 14 weiteren Messstellen konnte aus verschiedenen Gründen und Hindernissen im Rahmen der Stichtagsmessung kein Grundwasserstand erhoben werden, so dass auch diese Messstellen langfristig für das Messnetz ersetzt werden müssen.

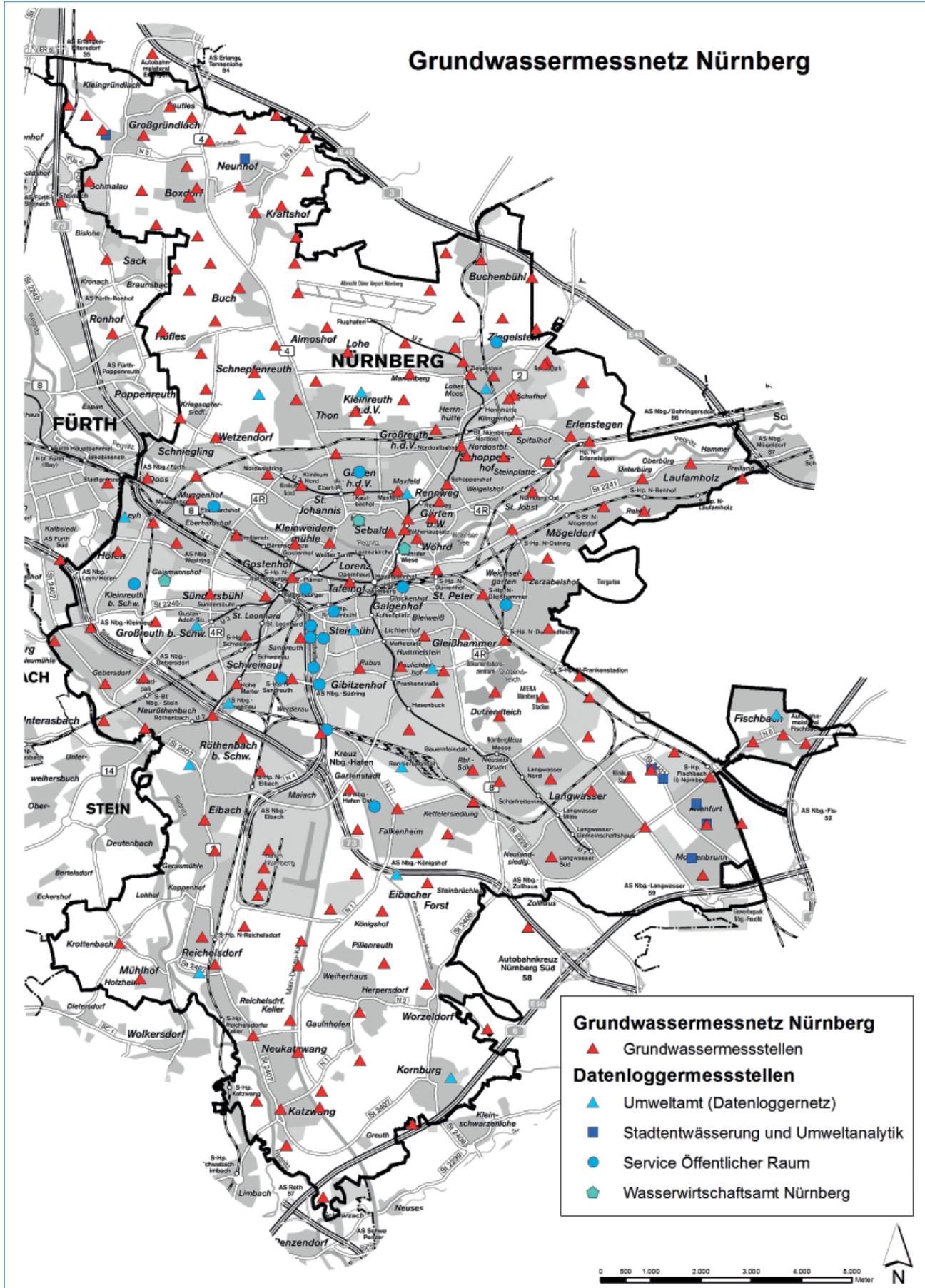
An diesem Messnetz sollen in 6-jährlichen Abständen Stichtagsmessungen (vgl. Kapitel 3.2.2.) zur Erhebung der Grundwasserstände durchgeführt werden. Die Ergebnisse werden in Form von Grundwasserkarten ausgewertet und veröffentlicht (vgl. Kapitel 3.2.2. und Grundwasserbericht 2011 [1]).

Das Datenlogger-Messnetz

Zur kontinuierlichen Beobachtung der Grundwasserstände und Grundwasserschwankungen wurde ergänzend ein Messnetz aus 18 Messstellen eingerichtet, bei welchen Datensreiber eingesetzt werden, die zweimal täglich den Grundwasserstand und die Grundwassertemperatur messen und digital registrieren.

Im Stadtgebiet sind darüber hinaus aus verschiedenen Gründen weitere Messstellen mit solchen Datenloggern ausgerüstet. Sie werden von der Stadtentwässerung (7), dem Service Öffentlicher Raum (11) oder dem Wasserwirtschaftsamt Nürnberg (3) betrieben und in die Auswertungen mit einbezogen (vgl. Kapitel 3.2.3.). Die Datenloggeraufzeichnungen werden in der Regel jährlich einmal ausgelesen. Weitere Datenlogger-Aufzeichnungen, die im Zusammenhang mit Bau- oder Sanierungsmaßnahmen betrieben werden, werden im Rahmen der Einzelfallbetrachtungen ausgewertet.

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm



Karte 15: Das Grundwassermessnetz der Stadt Nürnberg und Datenloggermessstellen im Stadtgebiet von Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3.2.2. Aktuelle Grundwasserstände - Neue Grundwasserkarten

Stichtagsmessungen

Stichtagsmessungen sind in einem bestimmten Untersuchungsgebiet (hier das Stadtgebiet von Nürnberg) zeitgleich durchgeführte Grundwasserstandsmessungen an einem Grundwassermessnetz. Sie dienen dazu, den Grundwasserspiegel unter gleichen witterungsbedingten Voraussetzungen zu erfassen.

Am Grundwassermessnetz der Stadt Nürnberg wurden durch die Stadtentwässerung und Umweltanalytik im Auftrag des Umweltamtes im Frühjahr 2010 sowie im Oktober 2010 und erneut im Oktober 2016 Stichtagsmessungen durchgeführt. Tatkräftige Unterstützung wurde durch das Wasserwirtschaftsamt (WWA) geleistet. Von den dortigen Mitarbeitern wurden Grundwasserstandsmessungen im Knoblauchsland und Erhebungen von Wasserständen an Oberflächengewässern durchgeführt. Zudem wurde die Datenlage erneut ergänzt durch terminlich abgestimmte jeweils eigene Erhebungen seitens der Wasserversorger N-ERGIE, Erlanger Stadtwerke und infra Fürth, des Flughafens Nürnberg, der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, der Deutschen Bundesbahn, der Stadtentwässerung und Umweltanalytik sowie des Service Öffentlicher Raum (Bereich Frankenschnellweg) und des U-Bahnbauamtes.

Die klimatischen Ausgangsbedingungen für die Stichtagsmessungen jeweils im Herbst 2010 und 2016 stellten sich sehr unterschiedlich dar und waren in beiden Jahren insgesamt eher ungewöhnlich.

Stichtagsmessung Oktober 2010

Die Niederschlagsmengen waren im vorausgegangenen Sommer, sowohl im Juli und insbesondere im August außergewöhnlich hoch. Sie lagen von Mai bis September um 42% über dem Mittel (Abbildung 68). Dadurch fand bereits im Sommer eine Grundwasserneubildung statt und die Grundwasserpegel sind in den ausgehenden Sommermonaten angestiegen. Somit lagen im Oktober 2010 entgegen des üblichen Grundwasserzustandes keine Niedrigwasserstände vor.

Fazit: Die Grundwasserstände vom Oktober 2010 waren ungewöhnlich hoch, die daraus erstellten Grundwasserkarten stellen in etwa mittlere bis leicht erhöhte Grundwasserstände dar.

Stichtagsmessung Oktober 2016

Die Grundwasserstände lagen im Durchschnitt um 0,5 m unterhalb des Niveaus von Oktober 2010. Ursache sind zum einen etwas geringere Niederschläge vor allem im August und September 2016 im Verhältnis zum langjährigen Mittel. In den Sommermonaten 2016 (hier: Mai bis September) lag das Minus gegenüber durchschnittlichen Niederschlagsmengen in diesen Monaten bei -12,4 %.

Zum anderen, ggf. wesentlichen Teil, hatte das extreme Trockenjahr 2015 noch seine Wirkung gezeigt. So sind nach einem bereits vorausgegangenen regenarmen Winter 2014/2015 mit verringerter Grundwasserneubildung im nachfolgenden extremen Trocken- und Hitzejahr 2015 die Grundwasserstände besonders stark gesunken.

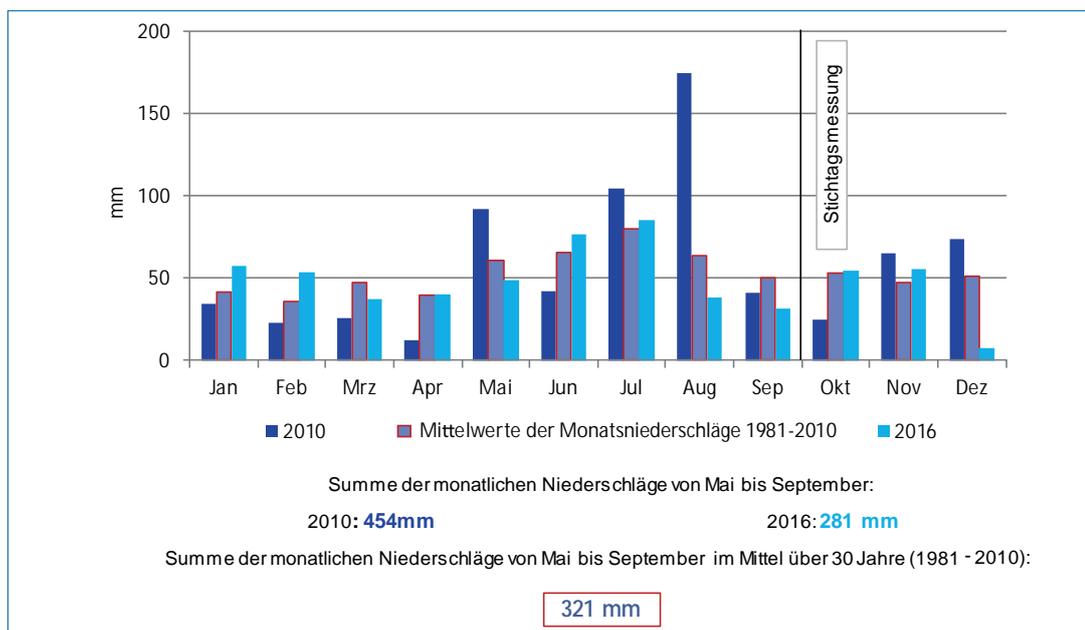


Abbildung 68: Klimatische Ausgangslage für die Stichtagsmessungen im Herbst 2010 und Herbst 2016; Niederschlagsverteilung der Vormonate von Mai bis September Auswertung auf Datengrundlagen des DWD – Niederschlagsdaten an der Flugwetterwarte Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

Der darauffolgende Winter 2015/2016 konnte diese nicht wieder ausreichend auffüllen. Bis Oktober 2016 waren rund -15 % (~ 180 mm) geringere Niederschläge in den vorausgegangenen 21 Monate zu verzeichnen (im Vergleich zum Mittel zwischen 1981 – 2010).

Fazit: Die Grundwasserstände lagen im Oktober 2016 eher im unteren Bereich der zu erwartenden Niedrigwasserstände am Ende des hydrologischen Jahres. Den hiermit vorgelegten neuen Grundwasserkarten liegen daher eher niedrige Grundwasserstände zugrunde.

Beurteilung der neuen Grundwassergleichen- und Flurabstandskarte

Für den Grundwasserbericht 2017 wurden die Grundwassergleichenkarte (Anlage A) und die Flurabstandskarte (Anlage B) für Nürnberg aktualisiert. Die Karten wurden im Auftrag des Umweltamts der Stadt Nürnberg von der Universität Erlangen – Nürnberg (Geozentrum Nordbayern, Bearbeiter: Michael Wehrl) erstellt.

Die Grundwassergleichenkarte 2016 zeigt im Großen und Ganzen ähnliche Verhältnisse wie 2011. Das Grundwasser fließt im südlichen Stadtgebiet von Südost mit Höhen von bis zu 352 Metern über Normalnull Richtung Nordwest mit minimal 282 Meter über Normalnull.

Dabei wirken die Pegnitz und die Rednitz als primäre Vorfluter. Als ein weiterer Vorfluter wirkt abschnittsweise (zwischen Schweinau und Hafengebiet) der Main-Donau-Kanal. Im nördlichen Stadtgebiet prägen das Gründlachtsystem, der Bucher Landgraben und die Pegnitz als Vorfluter die Fließrichtung. Die Änderungen zu 2011 sind marginal. Im Stadtteil Buchenbühl konnten allerdings durch ergänzende Messergebnisse und Untersuchungen (Erkenntnissen der Altdeponieuntersuchung) nun ebenfalls Aussagen über die Grundwasserhöhe des Hauptgrundwasserleiters gemacht werden.

Die Flurabstandskarte 2016 zeigt geringfügige Änderungen im Vergleich zu 2011. Vor allem lagen die Grundwasserstände 2016 um durchschnittlich einen halben Meter unterhalb der Messungen von Oktober 2010. So können besonders im Norden größere Flurabstände ausgemacht werden als 2011. Ebenso ziehen sich die Flurabstände größer 10 m durch den gesamten Nürnberger Sattel nördlich der Pegnitz. Auch zeigen sich in Katzwang und Reichelsdorf, bis auf wenige Ausnahmen, größere Flurabstände. In Gaismannshof (zwischen Höfen und Sünderbühl) hat sich die Kategorie der Flurabstände von sehr grundwassernah (0 – 1 m) in Richtung 1 – 3 m verschoben.

Hinweis: Die Flurabstandskarte (Anlage B) gilt für niedrige Grundwasserstände. Da für Planungen von Baumaßnahmen und sonstige Fragestellungen in aller Regel aber die Grundwassersituation bei hohen Grundwasserständen von Interesse ist, wurde für einen ersten Hinweis unter anderem auf Basis der vorhandenen Flurabstandskarte eine Planungshinweiskarte für wassersensible Bereiche erstellt (Näheres vgl. Kapitel 5.2.3.).

3.2.3. Entwicklung der Grundwasserstände im Stadtgebiet

Hintergrundinformationen zu Grundwasser-Ganglinien – Zeitreihen von Grundwasserständen

Hintergrund

Grundwasserstände haben grundsätzlich einen oszillierenden Verlauf, der sich nach dem Jahresgang der Niederschläge und der Witterung richtet. Dabei reagiert der Grundwasserspiegel, abhängig von der Tiefenlage und den hydrogeologischen Rahmenbedingungen, mehr oder weniger zeitversetzt auf Temperatur und Niederschlagsereignisse (vgl. Grundwasserbericht 2011 [1] Abbildung 57, S. 71).

Der Jahresgang

Die Grundwasserstände sind im Jahresgang in der Regel zu Beginn eines hydrologischen Jahres (November bis Oktober), d.h. am Ende des hydrologischen Sommers (Oktober/November), am niedrigsten. Grund dafür ist, dass im Sommer normalerweise keine Grundwasserneubildung stattfindet. Vielmehr verdunstet das Niederschlagswasser zum einen Teil durch unmittelbare Verdunstung, verstärkt durch sommerliche Temperaturen (Evaporation). Zum größeren Teil wird aber der Niederschlag von der Vegetation aufgenommen und durch Transpiration (Blattverdunstung) in die Atmosphäre abgegeben. Darüber hinaus zehren Pflanzen auch direkt vom Grundwasser. Der Sommer stellt also in der Regel eine „Grundwasserzehrzeit“ dar. In Trockenjahren kann diese sehr stark ausgeprägt sein.

Grundwasserneubildung findet vor allem im hydrologischen Winter durch Versickerung von Regenwasser sowie Schnee- und Tauwasser statt. In dieser Zeit werden die Grundwasservorräte wieder aufgefüllt. Voraussetzung ist, dass winterliche Niederschläge in ausreichender Menge fallen und versickern können. Am Ende des hydrologischen Winters sind die Grundwasserstände i.d.R. am höchsten. Es kann jedoch sein, dass, wie 2015/16 die Niederschläge im Winter (hier 2015/2016 und Frühjahr 2016) die Defizite aus extremen Trockenjahren des Vorjahres nicht ausgleichen können.

Der natürliche Ganglinienverlauf folgt der klimatischen Wasserbilanz, d.h. in Abhängigkeit von Niederschlag und Verdunstung. Je nach Tiefenlage des Grundwassers folgt die Grundwasserganglinie zum Klimaverlauf zeitversetzt und unterschiedlich ausgeprägt (Amplitudenhöhe).

Ein wesentlicher Faktor ist hierbei die Jahresniederschlagsmenge.

Entwicklung der Grundwasserstände in der Region

Angesichts des Klimawandels - mit den im Kapitel 1.3.1. skizzierten Veränderungen - ist früher oder später auch mit Folgen für den Nürnberger Wasserhaushalt zu rechnen. Nach KLIWA-Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Grundwasserständen [21] wurden für die Region um Nürnberg seit 1980 keine bzw. keine signifikanten Trends bei den Grundwasserständen, bei den Grundwasserhöchstständen und auch keine Verschiebung/Verlängerung bei den „Defizitphasen“ (Grundwasserstände niedriger als der Jahresmittelwert) festgestellt. Jedoch war eine Verschiebung des Eintritts des Maximalwertes des Grundwasserstandes um 0,6 bis 2,5 Tage nach vorne verzeichnet worden. Bei den Niederschlags- und Wasserdargebotszeitreihen wurde seit 1980 eine 8-Jahres Periodizität festgestellt.

Anthropogene / urbane Einflüsse auf den Grundwasserstand

Im Stadtgebiet von Nürnberg finden sich kaum Grundwassermessstellen, bei denen ausschließlich witterungsbedingte Grundwasserspiegelschwankungen (natürliche Ganglinienverläufe) gemessen werden können. Zahlreiche Einflüsse wirken auf das Grundwasser ein:

- Temporäre Bauwasserhaltungen (Wasserableitung zur Trockenlegung von v.a. größeren Baugruben, Tiefbaumaßnahmen (U-Bahnbau, Kanalbau))
- Grundwasserentnahmen aus Brauchwasser-, Beregnungs- oder Gartenbrunnen
- Sonstige Grundwasserentnahmen und Versickerungen z.B. im Rahmen von Grundwassersanierungsmaßnahmen
- Neuversiegelungen und Ableitung von Niederschlagswasser (u.a. fehlende / verringerte Grundwasserneubildung)
- Einflüsse bestehender Tiefbauwerke
- Grundwasserabfluss über die Kanalisation (Fremdwasser)
- Maßnahmen zu Gunsten des Wasserhaushalts: Versickerungsanlagen, Kanalsanierungen, Reduzierung von Grundwasserentnahmen

Die nachfolgend dargestellten Verläufe von Grundwasserständen sind daher in der Regel durch technische Einflüsse geprägt. Dabei ist dennoch der Gang der Niederschläge ein prägender Faktor, auch der Effekt von sich ändernden Klimawerten lässt sich trotz dieser anthropogenen Überlagerungen bei den langen Zeitreihen an Notbrunnen erkennen.

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

Datenlogger-Ganglinien

Für die folgende Auswertung wurden 20 Datenlogger-Zeitreihen, beginnend mit Ende 2012 bis März 2017, untersucht. Alle Datenlogger-Ganglinien werden jeweils mit dem aktuellen Stand im Internet auf der Homepage des Umweltamtes unter „Projekte / Grundwasser-Messprogramm“ veröffentlicht (https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/grundwasser_messprogramm.html).

Die Ganglinien zeigen seit Messbeginn einen absteigenden Trend der Grundwasserstände. Niedrigstände sind besonders in den Sommermonaten des sehr heißen und trockenen Jahres 2015 und – ganz entgegen den üblichen hydrologischen Regelmäßigkeiten - in den Frühlingsmonaten 2017, nach einem sehr trockenen Winter beobachtet worden. Für den Betrachtungszeitraum einmalige Höchststände treten in den meisten Messstellen im Frühsommer 2013 auf (vgl. Abbildung 69 und 70). Diese gehen mit dem stärksten Niederschlagsereignis zwischen 30. Mai und 3. Juni 2013 einher, welches im südostdeutschen Raum und darüber hinaus zu z.T. massiven Überschwemmungen führte (v.a. Jahrhunderthochwasser der Donau). Auch das Talsystem Rednitz/Regnitz war von Hochwasser (5 - 10 jähriges [159]) betroffen. Als Ausnahmen reagieren die Ganglinien GWM N0201 an der Köhnstraße (vgl. Abbildung 68) und GWM N0221 an der Umlandstraße nicht entsprechend. Diese Messstellen befinden sich in einem hochversiegelten Umfeld und haben einen größeren Flurabstand von 8 bzw. 10 Metern, weswegen sich der Einfluss der Niederschläge deutlich verringert und verzögert auswirkt.

Die meisten Ganglinien zeigen einen Jahresgang, der in etwa mit dem Niederschlagsgeschehen korreliert. Die typische Jahresamplitude mit den Niedrigständen zu Beginn des hydrologischen Winters im November und ihren Höchstständen zu Beginn des hydrologischen Sommers im Mai ist schon aufgrund der Niederschlagsverteilung nur teilweise gegeben. Fast alle Ganglinien zeigen im Sommer 2013 hohe Grundwasserstände (Höchststände), welche ab dem Winter kontinuierlich, ohne einen, an sich üblichen, winterlichen Wiederanstieg, bis zum Juni 2014 sinken. Danach, oft bereits im Juli, steigen bei 8 Messstellen die Grundwasserspiegel wieder an, was ungewöhnlich für die Sommermonate ist. Dies kann durch ein vermehrtes Aufkommen von Niederschlagsereignissen erklärt werden; in der Köhnstraße (vgl. Abbildung 71) reagiert die Messstelle jedoch außergewöhnlich stark. Ganz deutlich ist in fast allen Messstellen das Absinken der Grundwasserstände zum Ende 2015 zu erkennen (Niedrigstände). Bei einigen der Messreihen wird dieser Effekt verstärkt durch benachbarte Grundwasserentnahmen zur Beregnung. Bei circa 30% der gemessenen Brunnen setzt sich der niedrige Wasserstand auch in den Winter 2015/16 fort. Im Frühsommer 2016 ist dann bei den meisten Messstellen aufgrund des nassen Frühjahrs ein Grundwasseranstieg zu erkennen, welcher aber unterhalb der üblichen und zu erwartenden Grundwasserstände am Beginn eines hydrologischen Sommers bleibt. Es folgte ein sehr trockener Winter 2016/17, was sich durch unüblich niedrige Grundwasserstände im Winter, bis in das Frühjahr 2017 hinein bemerkbar macht.

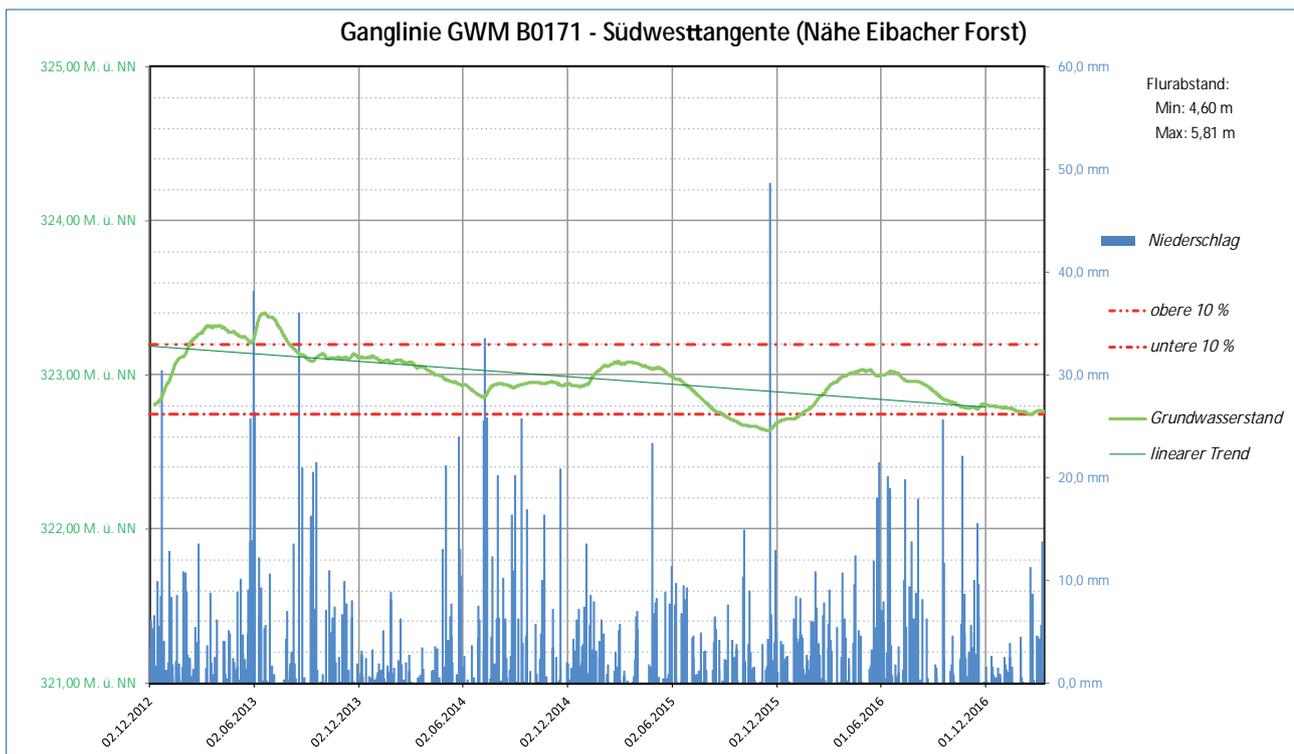


Abbildung 69: Ganglinie einer Messstelle Nähe Eibacher Forst (gleitender Durchschnitt); (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Fast alle der 20 Messreihen zeigen jedoch auch - mehr oder weniger stark – eine Überlagerung durch technische Einflüsse wie Versiegelung, Bauwasserhaltungen, Brunnenentnahmen oder Schluckbrunnen / Wiederversickerung. Bei 6 Messstellen sind Grundwasserabsenkungen durch nahegelegene Baustellen sichtbar.

An der Grundwassermessstelle in der Köhnstraße (vgl. Abbildung 71) zeigen sich deutliche Änderungen ab dem 01.11.2016, mit einem plötzlichen Abfall des Grundwasserspiegels von 299,6 m ü. NN auf 299,4 m ü. NN und einem gleichbleibenden Wasserspiegel in den darauffolgenden 5 Monaten bis zum Ende der Messung. Dies spricht für eine nahegelegene Bauwasserhaltung.

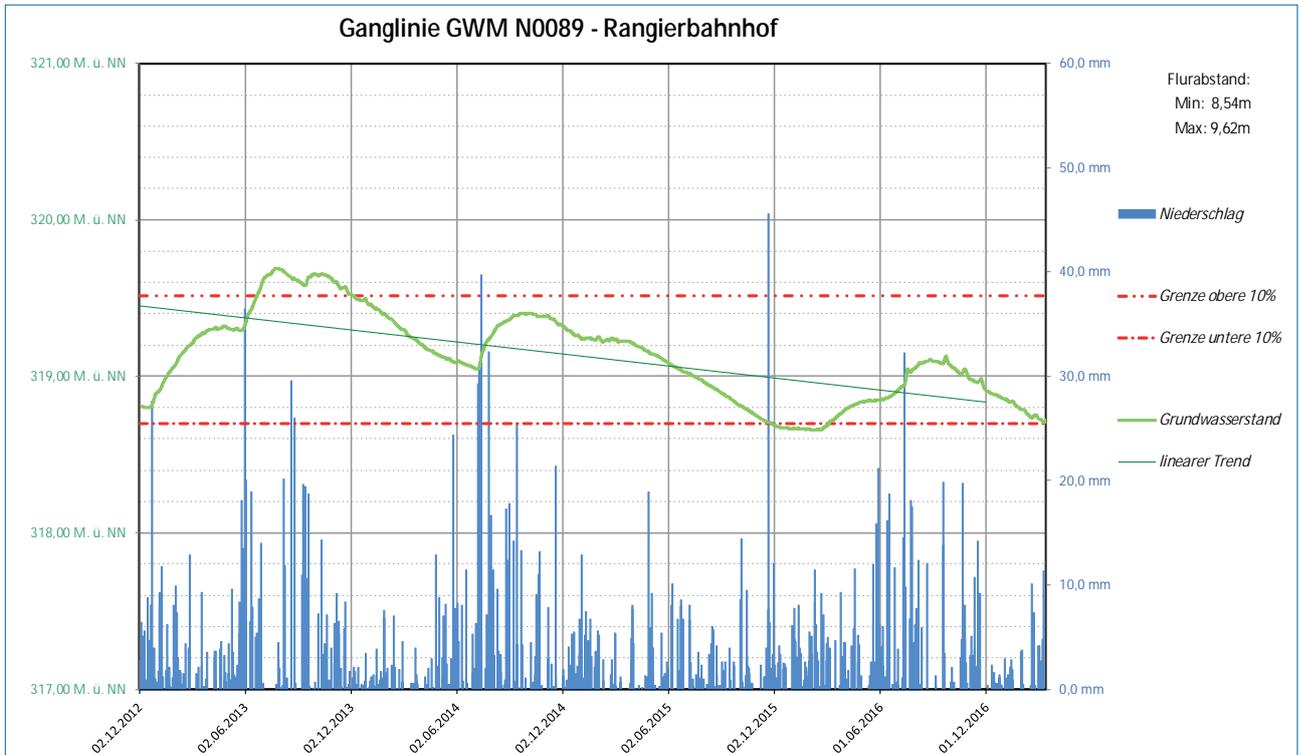


Abbildung 70: Ganglinie einer Messstelle am Rangierbahnhof (gleitender Durchschnitt); (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

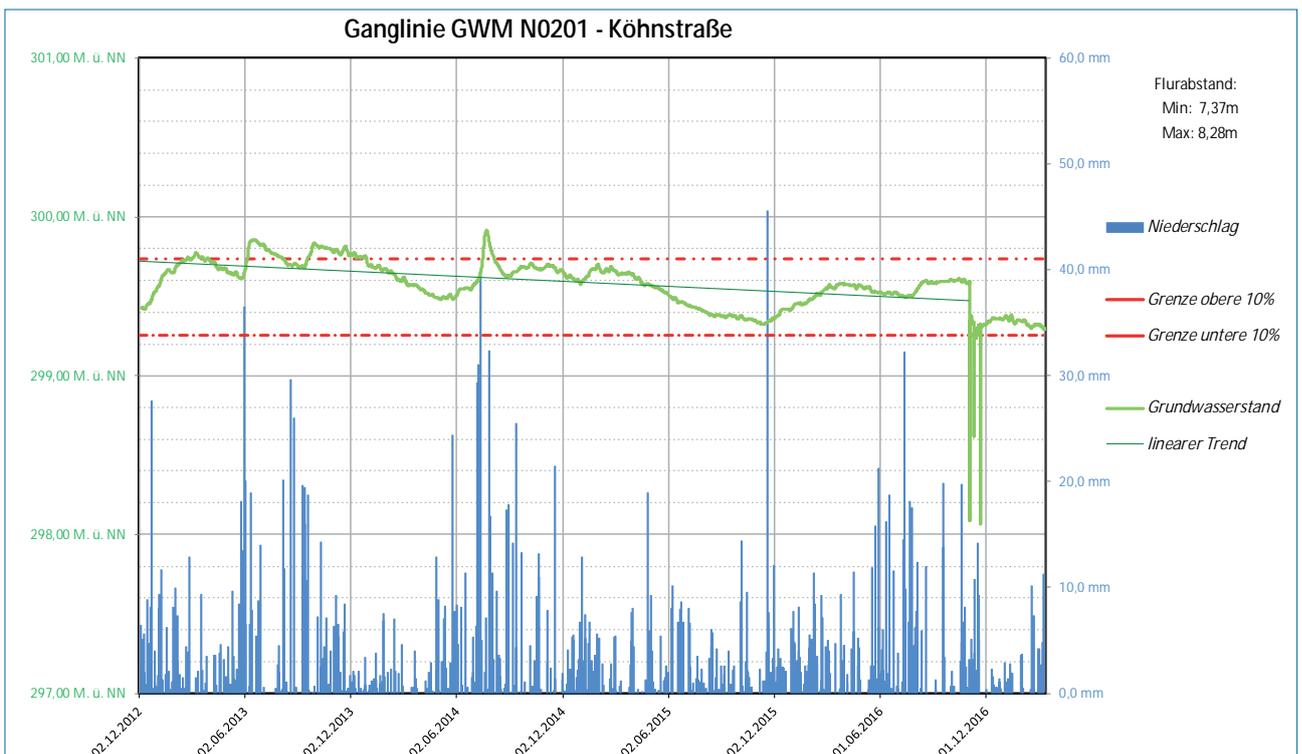


Abbildung 71: Ganglinie mit Bauwasserhaltung im Bereich Köhnstraße (gleitender Durchschnitt); (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

Auswertung langjähriger Messreihen – Grundwasserstände bei Notbrunnen

Für Notwasserbrunnen wird durch die N-ERGIE, soweit möglich, zweimal pro Jahr der Grundwasserstand ermittelt. Hier liegen somit in der Regel langjährige Zeitreihen mit halbjährlichen Grundwasserstandswerten vor (seit 1986). Jedoch konnten für vorliegenden Grundwasserbericht bei 62 der 119 Notwasserbrunnen keine Auswertungen stattfinden, da entweder keine Daten ermittelt werden konnten (keine Messung z.B. bei Handschwengelbrunnen möglich) oder wegen eines Umbaus der Brunnen und / oder wegen einer größeren Baumaßnahme im Umfeld, die gemessenen Werte nicht mit den Vorjahren verglichen werden konnten.

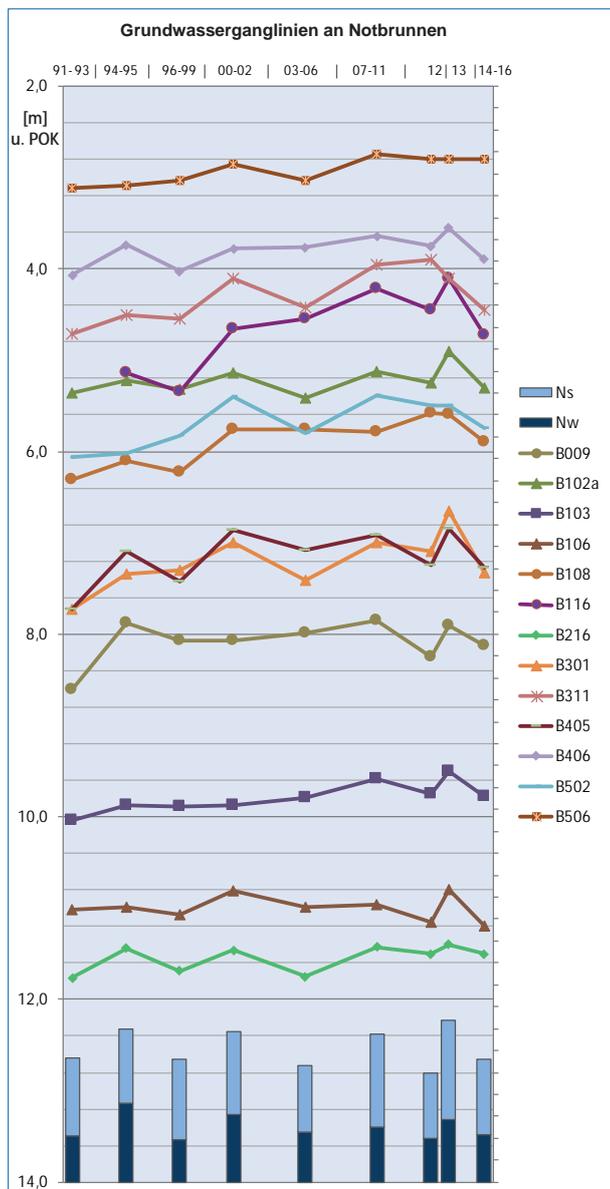


Abbildung 72: Für niederschlagsarme und -reiche Perioden gemittelte Grundwasserstände an Notbrunnen (POK: Pegeloberkante; Ns, Nw: Jahresmittelwerte der sommerlichen / winterlichen Niederschläge Skalierung in 100 mm Abständen; Niederschlagswerte ermittelt auf Basis der Datengrundlagen des Deutschen Wetterdienstes (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Bei 57 Brunnen war nach eingehender Prüfung und Plausibilitätskorrekturen bzw. Korrekturen kurzfristiger technischer Einflüsse (z.B. Bauwasserhaltungen) eine Trenduntersuchung möglich.

Im Zeitraum von 1991 bis 2016 lässt sich insgesamt ein Grundwasseranstieg in den Notwasserbrunnen erkennen. Dieser Anstieg war, nach einem zweitweisen Absinken um 2003, bis zum 1. Halbjahr 2011 zu verzeichnen. Dieser Trend mit Grundwasseranstiegen von 40 - 70 cm tritt im gesamten Stadtgebiet auf und korreliert mit dem Niederschlagsgang, so dass davon ausgegangen werden kann, dass diese Veränderung meist witterungsbedingt verursacht ist. Die hierbei ausschlaggebende Jahresniederschlagsmenge zeigte im linearen Trend, eine Zunahme von 1991 bis 2011 um 10,8 %. Danach war eine Abnahme der Jahresniederschläge zu verzeichnen (vgl. Kapitel 2.4.1).

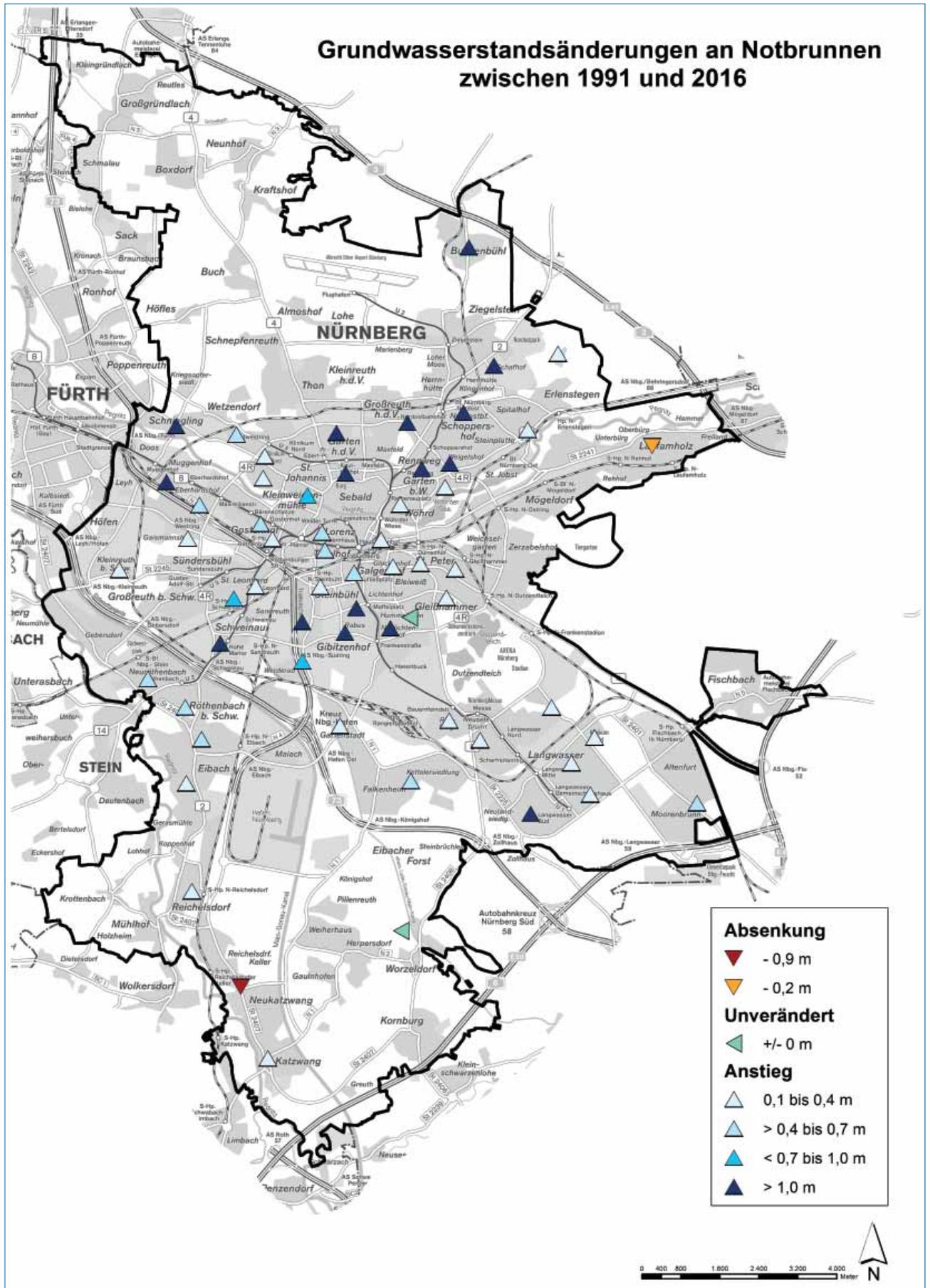
Im Zeitraum der letzten 6 Jahre gab es einerseits ausgesprochene Trockenzeiten, aber auch ein niederschlagsreiches Jahr (2013). Trotz der insgesamt niedrigeren Jahresniederschläge sind in Summe neben dem Juni v.a. die Herbstmonate (Sept. - Nov.) und der Januar zwischen 2011 und 2016 niederschlagsreicher als im vorausgegangenen Zeitraum ausgefallen. Die Auswirkungen dieses veränderten Niederschlagsgangs auf den Grundwasserspiegel sind uneindeutig.

Im Mittelwert der Grundwasserstände zwischen 2011 und 2016 zeigt sich ein uneinheitliches Bild gegenüber dem Grundwasserstand des vorausgegangenen Zeitraumes 2005-2010. 53 % der Notbrunnen, ohne erhebliche technische Beeinflussungen, weisen höhere, 19 % etwa gleichbleibende und 28 % niedrigere Grundwasserstände auf. Im linearen Trend der letzten 6 Jahre ist jedoch generell ein Absinken zu verzeichnen (Abbildung 72).

In den meisten Fällen verbleibt aber im Trend des Gesamtzeitraums ein Effekt der Zunahme von Niederschlägen (1991-2016 um 2,3 %) auf das Grundwasserniveau in Form von erhöhten Grundwasserständen. Dieser verbreitet festgestellte Grundwasserspiegelanstieg um bis zu ca. 70 cm liegt im Rahmen natürlicher Grundwasserspiegelschwankungen (vgl. Grundwasserbericht 2011 [1]).

Größere Grundwasserspiegelanstiege mit Beträgen > 100 cm finden sich, wie bereits in 2011 [1] festgestellt, in Schwerpunktbereichen großflächiger, entnahmebedingter Grundwasserabsenkungstrichter im Bereich ehemaliger großer Produktionsbetriebe bzw. Industrieflächen. Hier findet derzeit eine positive Entwicklung hin zu einer Regeneration der Grundwasservorräte statt. Wie erwartet, hat der in 2011 festgestellte Trend dort weiter angehalten und wird zum Teil durch witterungsbedingte Anstiege ergänzt.

Diese langjährige Trendbetrachtung gilt für die Jahresmittelwerte. Jahreszeitliche Schwankungen der Grundwasserstände sind damit egalisiert bzw. geglättet.



Karte 16: Trend langfristiger Grundwasserspiegeländerungen bei Notbrunnen, Auswertung halbjährlicher Grundwasserstandsdaten, erhoben von der N-ERGIE - Service GmbH (Auswertung der linearen Trends); (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3.2.4. Entwicklung des Grundwasserhaushalts im Knoblauchsland

Der Grundwasserhaushalt des Gemüseanbaugesbietes Knoblauchsland bedarf einer gesonderten Betrachtung. Im Gebiet des Wasserverbandes Knoblauchsland wird seit 2004 für die Bewässerung der Felder Wasser aus dem Rednitz- und Regnitztal bereitgestellt (vgl. Kapitel 1.5). Die ehemaligen 56 Entnahmekbrunnen des Wasserverbandes wurden stillgelegt. Der Grundwasserhaushalt war derart angespannt, dass sich im Zentrum des Knoblauchslandes ein großflächiger Absenktrichter ausgebildet hatte und das lokale Grundwasserangebot zur Beregnung der Anbauflächen nicht mehr ausreichte.

Durch die Wasserbeileitung wird mittel- bis langfristig die Regeneration der Grundwasservorräte und damit ein Wiederanstieg des Grundwasserspiegels auf das natürliche Niveau erwartet. Ein weitergehender Anstieg über das natürliche Niveau hinaus ist - wie vereinzelt von besorgten Bürgern befürchtet - auch langfristig nicht zu erwarten, da die Vorfluter das Grundwasserniveau regulieren. Beregnet wird hauptsächlich in der Kulturzeit, d.h. im Frühjahr und Sommer. Das aufwändig gewonnene Beregnungswasser wird dosiert und möglichst sparsam verteilt und nur bedarfsabhängig verwendet. Der wesentliche Teil des Beregnungswassers wird in den Pflanzen gespeichert und / oder über sie selbst und über den Boden verdunstet; zur Tiefenversickerung gelangt es bei bedarfsgerechter Verwendung kaum.

Zur Beobachtung der Entwicklung der Grundwasserstände wird seitens des Wasserverbandes seit 1989 an 29 Wasserverbandsbrunnen 2x im Jahr, zu Beginn und am Ende der Beregnungssaison, der Grundwasserstand gemessen. Zur Auswertung werden die Messwerte zu Beginn der Anbau- und Beregnungssaison herangezogen. Sie entsprechen den Ruhewasserspiegeln nach einer winterlichen Regenerationsphase des ersten, oberflächennahen Grundwasserstockwerks.

Im Grundwasserbericht 2011 [1] wurde festgestellt, dass die jährlichen Grundwasserstandsänderungen im Knoblauchsland deutlich vom Witterungsverlauf geprägt sind.

Ein Effekt der Aufgabe der Brunnennutzungen des Wasserverbandes konnte noch nicht belegt werden, zumal das Wasserbeileitungsprojekt noch nicht abschließend ausgebaut war und einzelne Brunnen im Beregnungsgebiet noch weiter betrieben wurden. Sechs Jahre später lässt sich nun insgesamt eine positive Wirkung der fertiggestellten Wasserbeileitung auf die quantitative Grundwassersituation erkennen (Abbildung 73).

Eine Regeneration der Grundwasservorräte kann flächendeckend zwar noch nicht verzeichnet werden, jedoch sind im Kerngebiet keine weiteren, nennenswerten Absenkungen mehr zu verzeichnen, vereinzelt hat sich der Trend bereits umgekehrt. In randlich gelegenen Brunnen sind jedoch seit 2004 weitere Grundwasserabsenkungen festzustellen.

Insgesamt entwickeln sich die Grundwasserstände seit 2011 im Knoblauchsland in etwa vergleichbar zum Stadtgebiet (vgl. Kapitel 3.2.3). Auch hier verhalten sich die gemittelten Grundwasserstände im 6-jährigen Vergleich uneinheitlich. Bei ca. der Hälfte der Brunnen ist ein Anstieg der Grundwasserstände um 20 - 30 cm zu verzeichnen und bei 30 - 40 % der Brunnen ist ein Absinken der Grundwasserstände um ca. 20 cm erfolgt (vgl. Tabelle 11).

Wegen der o.g. angespannten Grundwassersituation werden seit vielen Jahren keine weiteren Entnahmekontingente im Knoblauchsland genehmigt. Nachdem trotz erster positiver Entwicklungen dennoch nach wie vor keine deutliche Entspannung im Grundwasserhaushalt des Knoblauchslands erkennbar ist, sollte die Maßgabe zur Kontingentierung aufrechterhalten bleiben. Hinsichtlich zukünftiger Entscheidungen sind, neben der weiteren Beobachtung der Grundwasserstände, auch die Entwicklungen und Prognosen zum Klimawandel (Klimawandelbedingt veränderte Grundwasser-Neubildungsrate und veränderte Niederschlagsverteilung) und dessen Folgen zu berücksichtigen.

Änderung der Grundwasserstände (Ableich der Mittelwerte im Zeitraum)	Stadtgebiet		Knoblauchsland	
	% von 57 Notwasserbrunnen *)		% von 28 Wasserverbandsbrunnen	
Zwischen den Zeiträumen 2005-2010 und 2011-2016	% Brunnen	Mittlere Änderung (cm)	% Brunnen	Mittlere Änderung (cm)
Anstieg der Grundwasserstände	53	+ 28	46	+ 25
+/- gleichbleibend	19	0	18	0
Absinken der Grundwasserstände	28	- 15	36	-20

*) nur Notbrunnen mit geringen technischen Beeinflussungen in der Grundwasserstandszeitreihe

Tabelle 11: Änderung der Grundwasserstände im Stadtgebiet und im Knoblauchsland

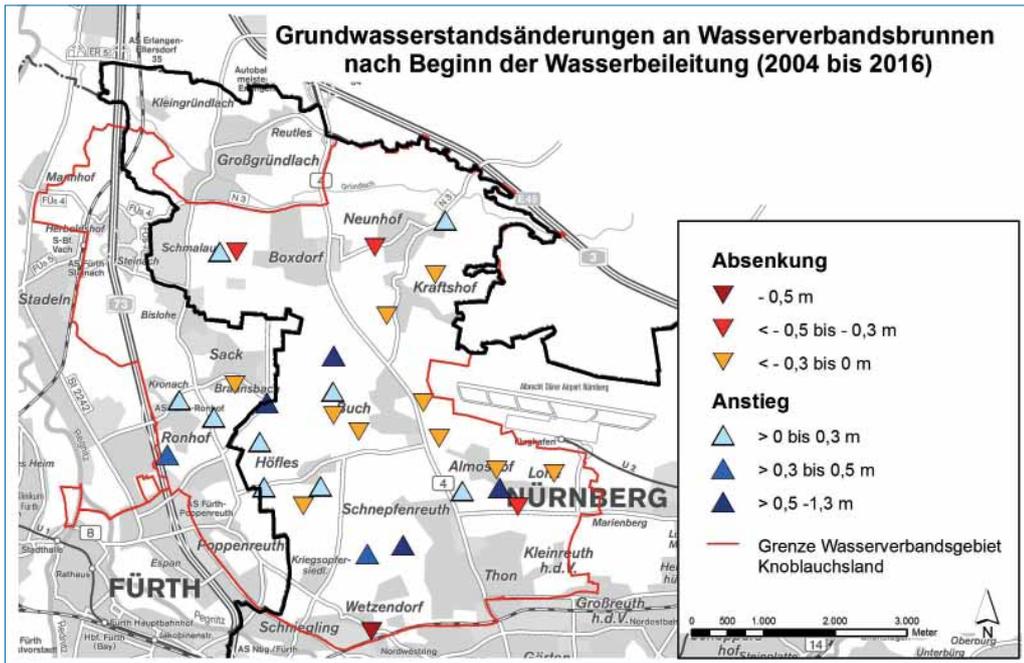


Abbildung 73: Grundwasserstandsänderungen im Knoblauchsland (Auswertung der linearen Trends von 2004 - 2016 - Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

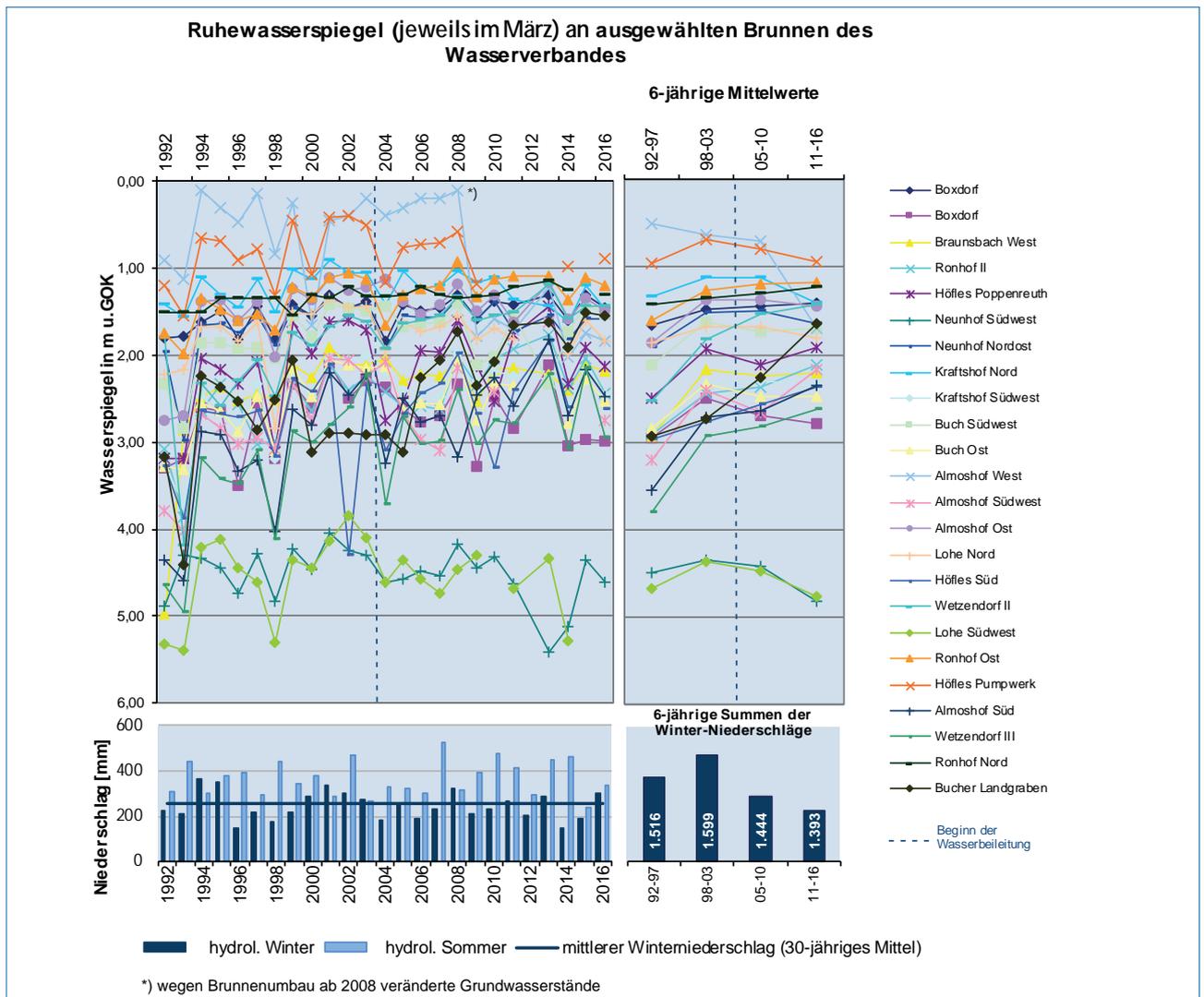


Abbildung 74: Grundwasserganglinien von Wasserverbandsbrunnen (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3.3. Grundwassertemperatur

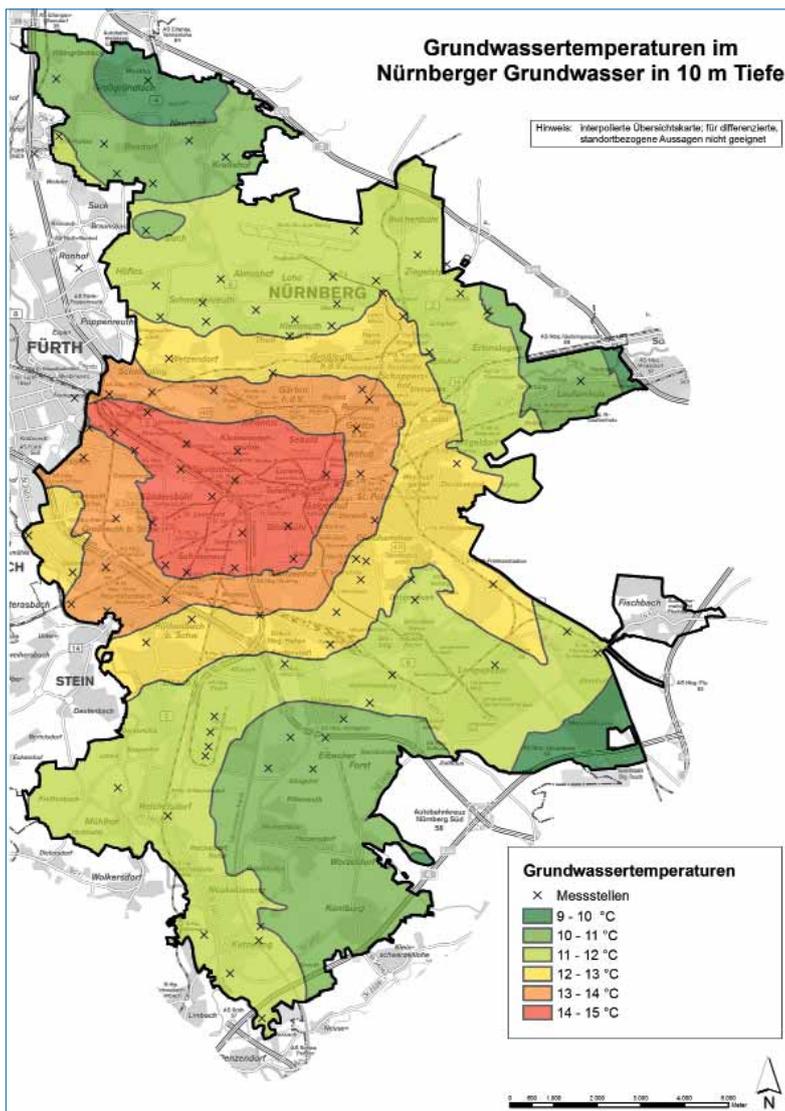
3.3.1. Überwachung der Grundwassertemperatur im Stadtgebiet Nürnberg seit 2012 - erste Erkenntnisse

In den vorherigen Kapiteln und dem letzten Grundwasserbericht lag der Fokus auf der Grundwasserqualität und -quantität. Eine Thematik, die in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen hat, ist die Temperatur des Grundwassers in urbanen Räumen.

Im Rahmen des Grundwassermonitoringprogramms (vgl. Kapitel 3.1.2) wurde die Erhebung der Grundwassertemperaturen aufgenommen. Die gesammelten Daten sind Ergebnisse von Einzelmessungen am Grundwassermessnetz und den Mittelwerten von Datenloggern, die über das gesamte Stadtgebiet verteilt sind und für ein zukünftiges Monitoring der Grundwassertemperatur verwendet werden sollen (Karte 17). Diese erst grobe Auswertung berücksichtigt die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen nicht. Dennoch zeigt die Karte bereits, dass im Stadtgebiet ein Zusammenhang zwischen Bebauungsgrad und erhöhten Temperaturen im Grundwasser besteht.

Das Grundwasser der Innenstadt von Nürnberg ist beinahe um 6 °C wärmer als in den ländlichen Gebieten im Süden und im Norden bzw. Nordwesten des Stadtgebietes. Ebenfalls gut zu erkennen ist die annähernd konzentrische Verteilung der Temperaturen mit zunehmender Entfernung zum Stadtzentrum. Richtung Fürth, entlang der Fürther Straße und dem Frankenschnellweg, dehnt sich der Bereich höherer Temperatur aus.

Für detaillierte Untersuchungen wäre das Messnetz weiter auszubauen. Besonders im Süden sowie in Fischbach und Moorenbrunn fehlen Messstellen, um die Ergebnisse abzusichern. Daher ist diese erste Untersuchung nur eine grobe Übersichtsdarstellung der realen Bedingungen. Auf genauere Ursachen für die im Überblick festgestellte Differenz zwischen ländlichen und städtischen Grundwassertemperaturen wird im nachfolgenden Beitrag genauer eingegangen (vgl. Kapitel 3.3.2.).



Karte 17: Überblick der Grundwassertemperaturen in 10 m Tiefe (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

3.3.2. Neue Erkenntnisse zu erhöhten Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet Nürnberg (GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg – Mario Rammler, Michael Wehrl, Prof. Dr. Joachim Rohn; Prof. Dr. Johannes A.C. Barth)

Im Rahmen der Masterarbeit „Auswirkung der Urbanisierung auf die Grundwassertemperatur in Nürnberg und erster hydrochemischer Vergleich oberflächennaher Aquiferabschnitte“ von RAMMLER, M. (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, GeoZentrum Nordbayern, Betreuung: Prof. Dr. Barth & Michael Wehrl [119]) wurde die Grundwassertemperatur in Nürnberg an 268 Standorten in enger Zusammenarbeit mit der Stadt Nürnberg untersucht. Insbesondere das Umweltamt und die Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN) haben das Vorhaben mit reichlich Daten unterstützt.

Räumliche Verteilung erhöhter Grundwassertemperaturen in Nürnberg und deren Ursachen

Es ist hinlänglich bekannt, dass im städtischen Bereich erhöhte Lufttemperaturen vorliegen. Hierbei wird oft von einer „urbanen Wärmeinsel“ gesprochen, die das Phänomen einer Erhöhung der Temperaturen zur Stadtmitte hin beschreibt. In der Stadt ist die Lufttemperatur ca. 2 °C bis 5 °C wärmer als auf dem Land [91].

Doch wie die Temperaturen im Grundwasser im Stadtbereich aussehen, ist Gegenstand von ersten Untersuchungen. Kann in Grundwasserleitern ein ähnlicher Effekt beobachtet werden? Letztere Frage kann für Nürnberg definitiv bejaht werden. Im Nürnberger Grundwasser liegen ebenfalls „urbane Wärmeinseln“ vor und wir haben generell im Stadtbereich höhere Temperaturen. Abbildung 75 zeigt, dass im Stadtzentrum von Nürnberg Grundwassertemperaturen bis zu 18 °C erreicht werden. Im Umland liegt die Grundwassertemperatur dagegen bei ca. 11 °C. Die erhöhte Lufttemperatur in der Stadtmitte wirkt sich erkennbar auch auf den Untergrund bzw. bis ins Grundwasser aus.

Aber nicht nur die Lufttemperatur spielt für die Erwärmung des Grundwassers eine Rolle. Gebäude, v.a. Tiefgaragen, zeigen deutliche lokale Einflüsse in Nürnberg, so im Bereich des Stadtzentrums. Die Oberflächenversiegelung verursacht flächig eine Temperaturerhöhung um ca. 2 °C. Die gemessenen Werte als auch der Verlauf einzelner Isothermen verweisen auf eine linienhafte, lokale Beeinflussung von U-Bahn-Linien. Vermutlich auch das Kanalsystem und andere

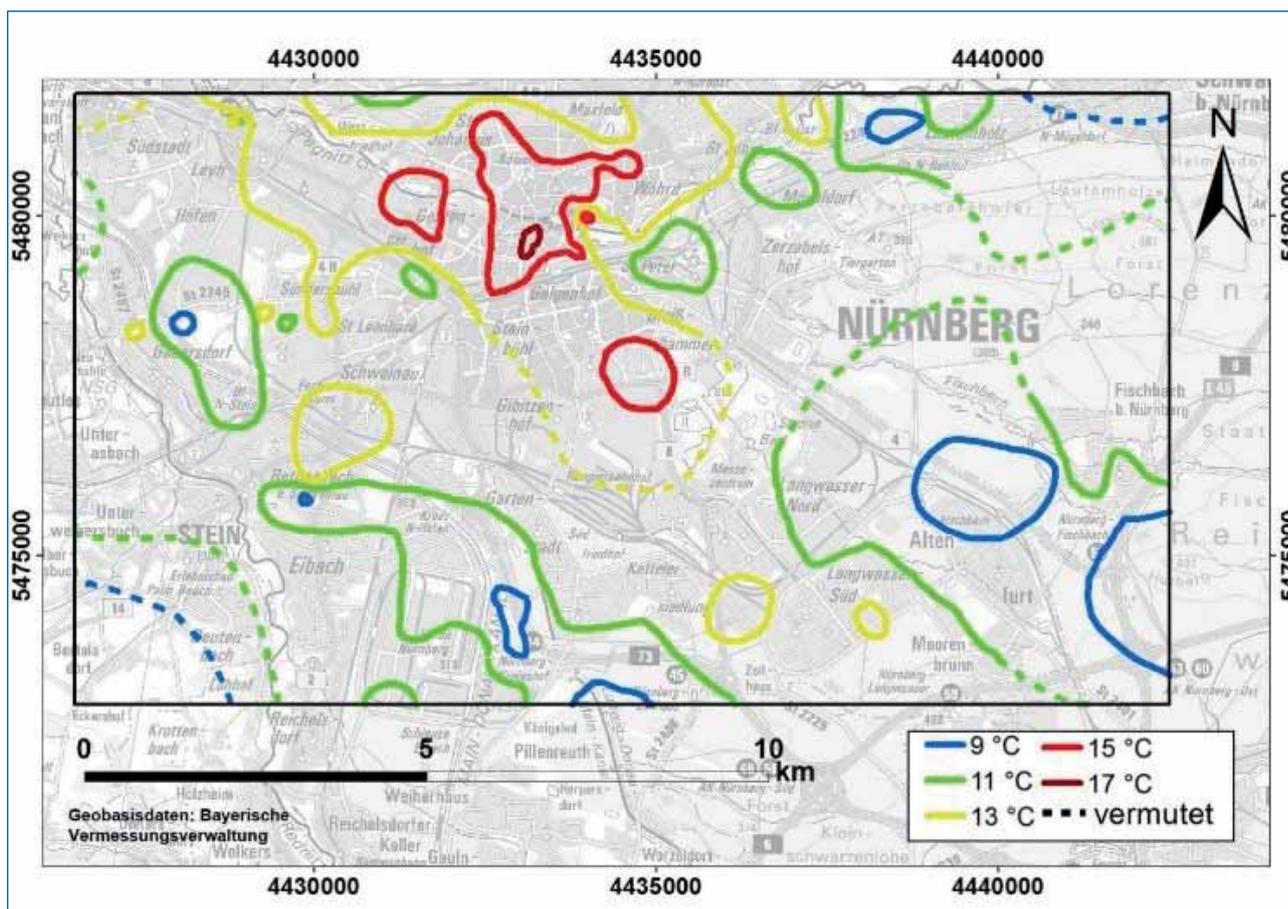


Abbildung 75: Grundwassertemperatur in Nürnberg 2 m unter Grundwasseroberfläche (Kartengrundlage: Topographische Karte im Maßstab 1:100.000 (TK100, Kartengrundlage: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de). Ähnliche Temperaturverteilungen liegen in abgeschwächter Form auch in größeren Tiefen vor. (Quelle: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, GeoZentrum Nordbayern; M. RAMMLER)

3.3.3. Jahrgang der Grundwassertemperatur - Auswertung durch das Umweltamt Nürnberg

Die vom Umweltamt der Stadt Nürnberg ausgewerteten Grundwassertemperaturen für einen flächigen Überblick wurden in 10 m Tiefe gemessen (vgl. Kapitel 3.3.1.). Hier wird nun der Frage nachgegangen, wie sich die Temperaturen mit der Tiefe und im zeitlichen Verlauf ändern. Dazu werden auf Basis der Erkenntnisse, die in Kapitel 3.3.2 dargestellt sind, 20 Messreihen des städtischen Datenloggermessnetzes näher ausgewertet.

Im Allgemeinen ist die Temperatur im Untergrund abhängig von zwei Faktoren:

- Sonneneinstrahlung, d.h. oberflächengenerierter Temperatur
- geothermalen Faktoren, d.h. aus dem Erdinneren.

Im Bereich von ca. 20 bis 25 m Tiefe wird der Einfluss der Oberflächentemperatur so schwach, dass die Temperatur ausschließlich durch den Geothermischen Tiefengradienten von etwa 3 °C / 100 m beeinflusst wird [93].

Die Auswertung der Messdaten des Zeitraumes Oktober 2012 bis Mai 2017 erfolgt durch einen Abgleich mit der Außentemperatur (Daten von der Flugwetterwarte; DWD). Die Messreihen zeigen folgenden Verlauf (vgl. Abbildungen 77 bis 79).

Deutlich zu erkennen ist die Amplitudenform der Messungen für das Grundwasser mit Maxima im Herbst bzw. Winter und Minima im Frühjahr oder Sommer. Nun ist eigentlich zu erwarten, dass es genau umgekehrt wäre, da eine Beeinflussung der Lufttemperatur grundsätzlich in bis zu 25 m Tiefe nachzuweisen ist. Diese Phasenverschiebung bei der Temperaturverteilung ist jedoch durch den Abstand des Grundwassers zur Oberfläche zu erklären.

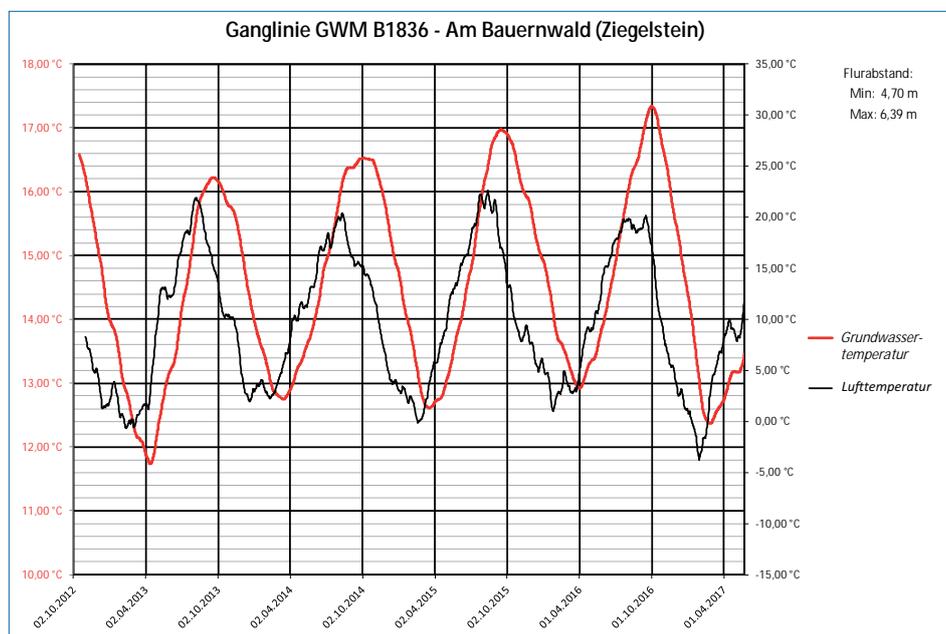
Hintergrund hierfür ist der Unterschied zwischen konduktiver und konvektiver Wärmeübertragung. Die Wärmeübertragung durch konduktiven Übertrag, also die Fest - Feststoff Übertragung ist um einiges langsamer als der konvektive Übertrag. Dadurch kommen Verzögerungen von bis zu 11 Monaten beim Eintrag der Wärme in das Grundwasser vor. Dies wird von den gemessenen Datenloggern bestätigt. Der Umfang der Phasenverschiebung ist dabei tiefenabhängig. Die minimalste Phasenverschiebung ist bei einer Datenloggertiefe von 8 m zu sehen (1 – 2 Monate; vgl. Abbildung 77) die größte Verschiebung ist im Datenlogger zu finden, welcher in 25 m Tiefe eingebaut ist (11 Monate; vgl. Abbildung 79).

Auch die Amplitudengröße korreliert mit der Messtiefe. Die oberflächennahen Datenlogger in 8 m Tiefe zeigen starke Schwankungen, wogegen die tiefen Datenlogger in 25 m Tiefe beinahe keine Schwankungen mehr zeigen. Ein Anzeichen für das Erreichen der sogenannten „neutralen Zone“ in der sich die Oberflächeneinflüsse und die geothermalen Temperatureinflüsse neutralisieren.

Abschließend ist festzustellen, dass im Temperaturverlauf über den Zeitraum Herbst 2012 bis Herbst 2016 (4 Jahre) die mittleren Grundwassertemperaturen in allen Messstellen gestiegen sind. Dieser Anstieg ist vermutlich von der Außentemperatur verursacht und ist tiefenabhängig. Der durchschnittliche Temperaturanstieg im Grundwasser liegt bei den ausgewerteten Messstellen zwischen 0,12 °C in Tiefen um 25 m und 0,83 °C relativ kurz unterhalb des Wasserspiegels in flachen Grundwassermessstellen.

Auf mögliche Nutzungen der Grundwassertemperatur wird in Kapitel 4 eingegangen.

Abbildung 77:
Ganglinie für die Grundwassertemperatur (rot) an einer Messstelle in Ziegelstein, in einer Messtiefe von 8 m; Ganglinie der Lufttemperatur schwarz; (Daten der Lufttemperatur an der Flugwetterwarte vom Deutschen Wetterdienst - Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



3. Grundwasseruntersuchungsprogramm

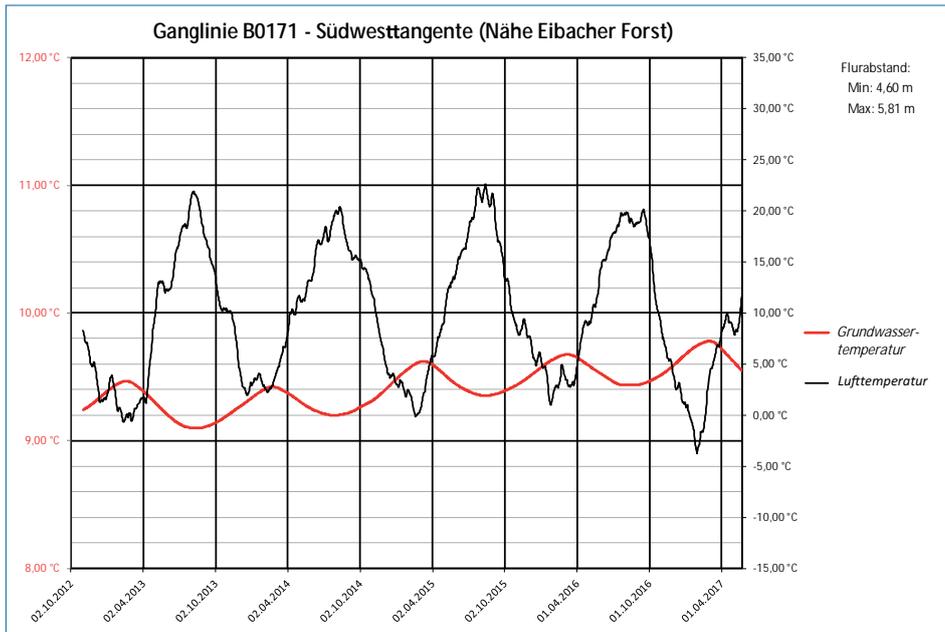


Abbildung 78: Ganglinie für die Grundwassertemperatur (rot) an einer Messstelle nördlich des Eibacher Forstes, in einer Messtiefe von 14 m; Ganglinie der Lufttemperatur schwarz; (Daten der Lufttemperatur an der Flugwetterwarte vom Deutschen Wetterdienst - Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

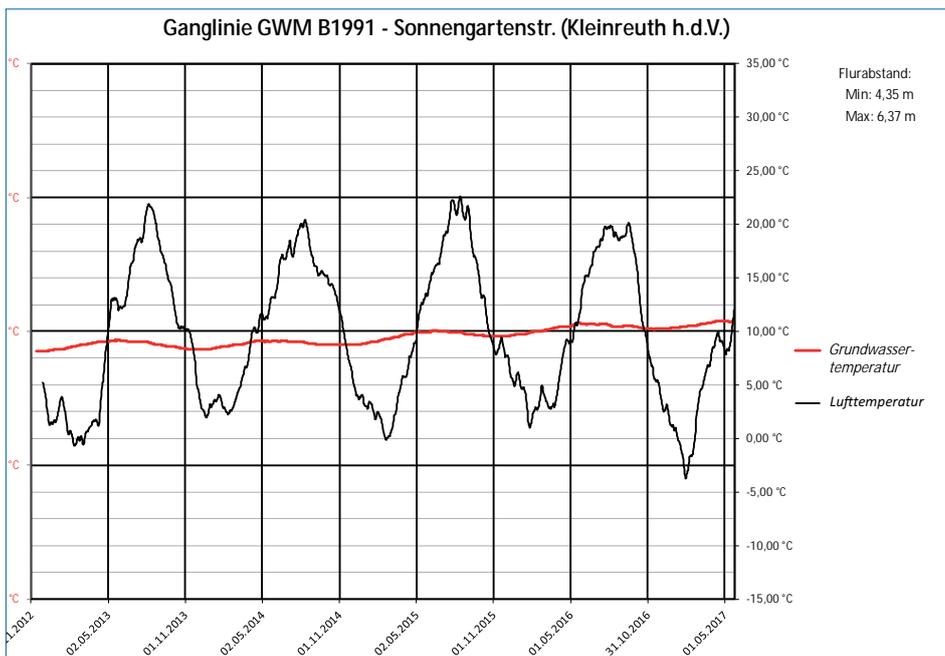


Abbildung 79: Ganglinie für die Grundwassertemperatur (rot) an einer Messstelle in Kleinreuth h.d.Veste, in einer Messtiefe von 25 m; Ganglinie der Lufttemperatur schwarz; (Daten der Lufttemperatur an der Flugwetterwarte vom Deutschen Wetterdienst, DWD - Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

4. Geothermie

4.1. Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Nürnberg – Chancen und Risiken

(Wasserwirtschaftsamt Nürnberg – Udo Kleeberger)

Definition

Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Nutzung der Erdwärme bis ca. 400 Meter Tiefe zum Heizen oder Kühlen.

Bereits in wenigen Metern Tiefe ist die Untergrundtemperatur im Gestein und im Grundwasser von Witterungseinflüssen nahezu unabhängig und liegt das ganze Jahr über bei rund 10 Grad Celsius.

Dieses Wärmepotential kann mit verschiedenen Anlagentypen unter Verwendung einer Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen verwendet werden; die Erdwärme wird dabei durch die Speicherung von Sonnenenergie im Boden und durch den Wärmefluss aus dem Erdinneren immer wieder ergänzt und ist deshalb (zumindest mittelfristig) eine regenerative Energie, die aber trotzdem sorgfältig bewirtschaftet werden muss, um auf Dauer eine punktuelle Auskühlung des Untergrundes zu vermeiden.

Aus geologischer Sicht ist auf nahezu jedem Grundstück eine geothermische Nutzung möglich, es müssen jedoch hydrogeologische, technische und administrative Vorgaben bei der Planung und dem Bau einer solchen Anlage berücksichtigt werden.

Der Bau einer Anlage zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie ist deshalb in Bayern wasserrechtlich genehmigungspflichtig (Erdwärmesonden und Anlagen zur direkten Nutzung des Grundwassers über Entnahme – und Schluckbrunnen) oder zumindest anzeigepflichtig (Erdwärmekollektoren oder andere ganz flache Systeme die nicht in das Grundwasser eingreifen).

Kollektoren und andere oberflächennahe Systeme

Der Erdwärmekollektor ist ein System von dünnen Rohrleitungen aus Kunststoff, die in einer Tiefe von rund 1 bis 1,5 Meter in einem Sandbett im Boden verlegt werden. In diesen Rohren zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit, die dem Boden Wärme entzieht und diese Wärme zu einer Wärmepumpe transportiert, die dann dieses niedrige Energieniveau auf die erforderliche Vorlauftemperatur von rund 30 bis 35 Grad für eine Niedertemperaturheizung anhebt. Es handelt sich dabei eigentlich eher um eine Solarheizung als um eine echte geothermische Nutzung, da der Anteil der Wärme die aus dem Erdinneren als Wärmefluss aufsteigt hier sehr gering ist.

Solche oder ähnliche oberflächennahen Systeme (Erdwärmekörbe, Grabenkollektoren etc.) sind aus den folgenden Gründen eher selten:

- 1) Für einen Kollektor wird – selbst bei guter Dämmung – bis zum 2-fachen der Wohnfläche des Gebäudes an Kollektorfläche benötigt
- 2) Die Kollektorfläche darf nicht beschattet werden und ist insgesamt nur eingeschränkt gärtnerisch nutzbar
- 3) Der anstehende Boden muss einen hohen bindigen Anteil haben und ein gutes Wasserhaltevermögen, da die Speicherfähigkeit des Bodens stark vom Wassergehalt abhängt; trockener Sand zum Beispiel, der in Nürnberg oft anzutreffen ist, hat nur ein sehr geringes Speicherungsvermögen für Wärme.

Aus den genannten Gründen sind solche Anlagen im Stadtgebiet eher selten anzutreffen; da sie in der Regel nicht ins Grundwasser eingreifen, sind sie nur anzeigepflichtig, bedürfen keiner wasserrechtlichen Genehmigung und können mit technischem Sachverstand auch in Eigenleistung errichtet werden.

Direkte Nutzung des Grundwassers über Entnahme – und Schluckbrunnen

Die direkte Nutzung des Grundwassers über Brunnen zum Heizen und Kühlen ist die effektivste Form der Nutzung der oberflächennahen Geothermie.

Nach der ausschließlich thermischen Nutzung des Grundwassers ist es in der Regel im geschlossenen Kreislauf über Schluckbrunnen dem Grundwasserregime wieder zuzuführen.

Allerdings müssen mehrere hydrogeologische Standortvoraussetzungen erfüllt sein, damit eine direkte Nutzung des Grundwassers über Brunnenanlagen erfolgen kann und sinnvoll ist:

- 1) Es muss oberflächennah ausreichend Grundwasser zur Verfügung stehen, im Idealfall gespeichert in hydraulisch hoch ergebnigen Porengrundwasserleitern. Für die direkte thermische Nutzung darf nur das erste, oberflächennahe Grundwasser verwendet werden.
- 2) Das Grundwasser muss hydrochemisch geeignet sein für den Wärmeentzug in einer Wärmepumpe; sind z. B. die Gehalte an geogen bedingtem Eisen und / oder Mangan im Grundwasser zu hoch, dann erfolgt eine schnelle

Brunnenalterung (Nachlassen der Ergiebigkeit der Brunnen durch Ablagerung von Eisen- und Manganoxiden in den Filterschlitz und im Filterkies) und der Wärmetauscher verstopft ebenfalls rasch. Die Anlage hat somit einen hohen Überwachungs- und Pflegeaufwand und damit eine eingeschränkte Verfügbarkeit.

- 3) Sind im Grundwasser anthropogene Schadstoffe vorhanden oder zu erwarten, dann scheidet eine direkte thermische Nutzung des Grundwassers in der Regel ebenfalls aus, da der Betreiber der Anlage das thermisch genutzte Grundwasser vor der Rückführung in den Grundwasserkörper noch auf eigene Kosten reinigen müsste, was normalerweise wirtschaftlich nicht darstellbar ist.

Die Möglichkeit zur direkten Nutzung des Grundwassers als Energiequelle ist ein **positiver Standortfaktor**. Im Stadtgebiet von Nürnberg sind Bereiche mit oberflächennahen, mächtigen Lockergesteinen und damit die Gebiete des Grundwasserbegleitstroms der größeren Gewässer oder die Urtalrinnen der Pegnitz bevorzugt (vgl. Kapitel 2.1. bis 2.3.).

Diese Urtalrinnen entstanden vor langer Zeit dadurch, dass das gesamte Flusssystem von Pegnitz und Rednitz, das ursprünglich einmal nach Süden zur Donau geflossen ist, durch rückschreitende Erosion angezapft und in der Fließrichtung umgekehrt wurde. Dadurch mussten sich auch alle Nebenflüsse umorientieren. Im alten Flusssystem lag die Mündung der Pegnitz in die Regnitz zum Beispiel früher bei Eibach/Reichelsdorf.

Die nach der Fließumkehr des gesamten Gewässernetzes nicht mehr benötigten ehemaligen Täler wurden danach wieder mit Sanden und Kiesen aufgefüllt. Der Verlauf dieser verfüllten Urtalrinnen oder Paläotäler der Pegnitz ist mittlerweile im Stadtgebiet durch viele Erkundungsmaßnahmen recht gut bekannt und diese Urtalrinnen bieten durch die hohe Ergiebigkeit des in den Sanden gespeicherten Grundwassers und günstiger hydrochemischer Verhältnisse ideale Voraussetzungen für eine direkte thermische Benützung des Grundwassers.

Ein bedeutendes Möbelhaus an der Münchener Straße liegt z.B. in der ergiebigsten Urtalrinne der Pegnitz und nutzt diesen positiven Standortfaktor für eine hoch effiziente, geothermische Kühlanlage.

Wird Grundwasser unmittelbar aus dem Uferbegleitstrom eines Gewässers genutzt, so kann die Rückführung des ausschließlich thermisch genutzten Grundwassers in den Grundwasserleiter über Schluckbrunnen entfallen und das Grundwasser kann nach der thermischen Nutzung direkt in das Gewässer eingeleitet werden; dieser Sachverhalt muss aber dann auch - genau wie die thermische Nutzung - wasserrechtlich genehmigt werden.

Erdwärmesonden

Über Erdwärmesonden ist eine indirekte Nutzung des geothermischen Potentials des Untergrundes möglich.

Dabei werden in eine kleinkalibrige Bohrung mit meist 150 mm Durchmesser in der Regel 2 Rohrstränge aus Kunststoff eingebaut und in das umgebende Gestein quasi einbetoniert. In diesem Rohrsystem zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser mit Frostschutzmittel), die sich bei der Durchströmung des Untergrundes immer wieder auf die natürliche Untergrundtemperatur des Gebirges aufheizt. Diese geringe Energie wird zur Wärmepumpe transportiert. Die Wärmepumpe hebt dann dieses geringe Energieniveau auf ein für eine Niedertemperaturheizung erforderliches Vorlaufniveau von rund 35 Grad an.

Die maximal zulässige Bohrtiefe richtet sich bei den Sonden nach den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen im Untergrund.

So ist z.B. der Grundwasserstockwerksbau zu beachten (schwer durchlässige, grundwasserstockwerkstrennende Schichten dürfen nicht durchbohrt werden). Auch gespanntes Grundwasser oder artesisch gespanntes Grundwasser (Grundwasser, das so stark unter Druck steht, dass es von selbst ab GOK ausläuft) darf bei den Sondenbohrungen nicht erschlossen werden.

In Trinkwasserschutzgebieten oder anderen wasserwirtschaftlich hoch sensiblen Bereichen ist die Errichtung von Erdwärmesonden ebenfalls nicht zulässig oder die maximal zulässige Bohrtiefe so stark eingeschränkt, dass eine sinnvolle Nutzung der oberflächennahen Geothermie nahezu ausgeschlossen ist.

Ob an einem Standort eine geothermische Nutzung überhaupt möglich ist, können Bauherren und Planer über ein Auskunftssystem im Gewässeratlas auf der Homepage des Bayerischen Landesamtes für Umwelt schnell und sicher selbst abfragen. Das System erzeugt dabei eine Standortauskunft, die alle wesentlichen Informationen zur Planung einer Anlage enthält.

https://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie_jog/index.htm

Durch den in Nürnberg vorherrschenden und gut bekannten Grundwasserstockwerksbau sind Erdwärmesonden im Stadtgebiet von Nürnberg nahezu überall möglich (mit Ausnahme des Trinkwasserschutzgebietes Erlenstegen der N-ERGIE im Osten und weniger kleiner Ausschlussgebiete).

Die Estherienschiefer (graue bis schwarze, schwer durchlässige Tone und Tonsteine im Untergrund, die die schutzwirksame Deckschicht für das darunter anstehende Tiefengrundwasser im Benker Sandstein bilden) dürfen jedoch nicht vollständig durchbohrt werden. Aus dieser Vorgabe ergeben sich maximal zulässige Bohrtiefen für Erdwärmesonden im Stadtgebiet Nürnberg von rund 60 Meter im Westen bis 100 Meter im Südosten.

Zusammenfassend lässt sich für das Stadtgebiet Nürnberg zum Thema oberflächennahe Geothermie folgendes feststellen:

- 1) Kollektoren und andere ganz oberflächennahe Systeme spielen kaum eine Rolle.
- 2) Die direkte Nutzung des Grundwassers über Brunnen ist an bestimmte positive Standortfaktoren gebunden.
- 3) Erdwärmesonden sind unter Beachtung der maximal zulässigen Bohrtiefe nahezu überall möglich; besondere Bohrrisiken sind im Untergrund von Nürnberg nicht bekannt und auch nicht zu erwarten, bei technisch ordnungsgemäßer Durchführung der Bohrungen durch zertifizierte Fachfirmen.

Bisher sind in Nürnberg keine Schäden durch Sondenbohrungen bekannt geworden.

Augenblickliche Situation in Nürnberg

Die Nachfrage nach der Errichtung von Erdwärmesonden als der gängigsten Art der Nutzung der oberflächennahen Geothermie hat auf dem Sektor privater Wohnungsbau – trotz der derzeit erheblichen staatlichen Fördergelder für solche Anlagen - deutlich nachgelassen.

Dies hat vielfältige wirtschaftliche Gründe (z.B. sind fossile Energieträger nach wie vor günstig zu haben), ist aber insgesamt bedauerlich, da die oberflächennahe Geothermie einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten könnte.

Geblichen ist das Interesse für große und komplexe Erdwärmesondenfelder bei öffentlichen Auftraggebern und der Industrie, hier besonders bei Firmen die auch einen hohen Kühlbedarf haben oder die große Räume nur frostfrei halten müssen (Rechenzentren und Speditionen).

Hier werden die hohen Investitionskosten für eine solche Anlage ganz klar in Kauf genommen und mit den niedrigen Betriebskosten gegen gerechnet.

Diese komplexen Sondenfelder, die oft und idealer Weise in einer Kombination von Heizen und Kühlen betreiben werden, erfordern allerdings in der Planung, dem Bau und der Überwachung einen erheblichen Aufwand.

So werden bei diesen Sondenfeldern zunächst an einer Versuchsbohrung die maßgeblichen Untergrundparameter gemessen und dann das Sondenfeld in seiner erforderlichen Geometrie berechnet und die Auswirkungen des Betriebes des Sondenfeldes für die nächsten 50 Jahre simuliert.

Erst wenn die Modellierung klar erkennen lässt, dass auch nach 50 Jahren Betrieb die thermischen Veränderungen des Untergrundes im Wesentlichen auf das eigene Grundstück beschränkt bleiben und die Untergrundtemperatur einem stabilen Zustand zustrebt, kann die Anlage durch das Wasserwirtschaftsamt als in dem Fall zuständiger Fachbehörde der Stadt (hier: Untere Wasserrechtsbehörde im Umweltamt) zur Genehmigung empfohlen werden.

Es bleibt für die Zukunft zu hoffen, dass das Interesse an einer umweltschonenden Möglichkeit zum Heizen und zum Kühlen in der nahen Zukunft wieder deutlich zunimmt, damit die oberflächennahe Geothermie wieder den Stellenwert innerhalb der Klimaschutzpolitik der EU bekommt, der ihr eigentlich zusteht.



Abbildung 80: Herstellung einer Erdwärmesondenanlage im Gewerbebau
(Quelle: Baugrund Süd Gesellschaft für Geothermie mbH)



Abbildung 81: Durchführung einer Brunnenbohrung im Wohnungsbau
(Quelle: Baugrund Süd Gesellschaft für Geothermie mbH)

4.2. Aktueller Stand der Nutzung der Geothermie in Nürnberg

Für die vorliegende Übersicht wurden durch das Umweltamt alle bis Dezember 2016 im Stadtgebiet Nürnberg angezeigten bzw. genehmigten Geothermie-Anlagen ausgewertet.

Grundwasser-Wärmepumpen

Die unmittelbare thermische Nutzung des Grundwassers erfordert die Errichtung von Förder- und Schluckbrunnen. Diese bedürfen einer Genehmigung.

Im März 1981 wurde die erste wasserrechtliche Erlaubnis für eine Grundwasser-Wärmepumpe in Nürnberg erteilt. In den 80er Jahren wurden bereits 58 Grundwasser-Wärmepumpen-Anlagen errichtet. Nur etwa 50 % der Anlagenbetreiber beantragten nach 20 Jahren, also nach Ablauf der Genehmigung, eine Verlängerung der wasserrechtlichen Erlaubnis. In den folgenden Jahren wurden weitere 44 Grundwasser-Wärmepumpen in Betrieb genommen. In den letzten drei Jahren (2014 bis 2016) wurde für 4 Anlagen eine Genehmigung beantragt. Es handelt sich in aller Regel um Anlagen mit einem Förder- und einem Schluckbrunnen. Sie werden zu ca. 85 % von Privathaushalten betrieben.

Insgesamt ist bei der geothermischen Nutzung mittels Grundwasserwärmepumpen bei Privathaushalten ein deutlich rückläufiger Trend zu beobachten.

Größere Anlagen mit größeren Fördermengen und meist mehreren Förder- und Schluckbrunnen wurden hingegen gerade in den letzten zehn Jahren errichtet. Diese Anlagen dienen der Gebäudekühlung. Es sind in Nürnberg 4 solcher Anlagen in Betrieb.

Erdwärmekollektoren

In Nürnberg wurden bislang nur drei Erdwärmekollektoren (2004, 2005 und 2006) angezeigt. Damit zeigt sich, dass herkömmliche Erdwärmekollektoren in städtischen Bereichen wenig Verbreitung finden (vgl. Kapitel 4.1.).

Erdwärmesonden

Bei einem Einfamilienhaus werden in der Regel 2 bis 4 Sonden installiert (eine Sonde = ein Bohrloch mit Kunststoffrohr aus gestattet); bei einem Vorhaben mit mehr als 10 Sonden spricht man von Sondenfeldern.

Für dieses geothermische System ohne direkte Grundwassernutzung wurde 2003 die Anzeigepflicht eingeführt und 2010 durch ein wasserrechtliches Genehmigungsverfahren abgelöst.

Das Heizen mit Erdwärme erlebte in Nürnberg v.a. ab 2005 eine starke Nachfrage. Seit ca. 5 Jahren ist der Trend rückläufig (vgl. Abbildung 83).

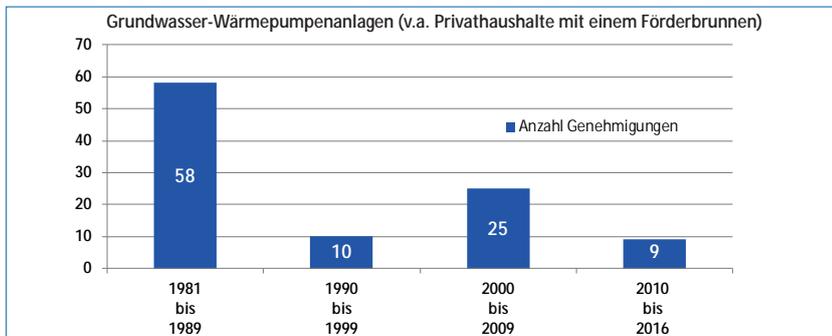


Abbildung 82: Anzahl genehmigter Grundwasser-Wärmepumpenanlagen (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

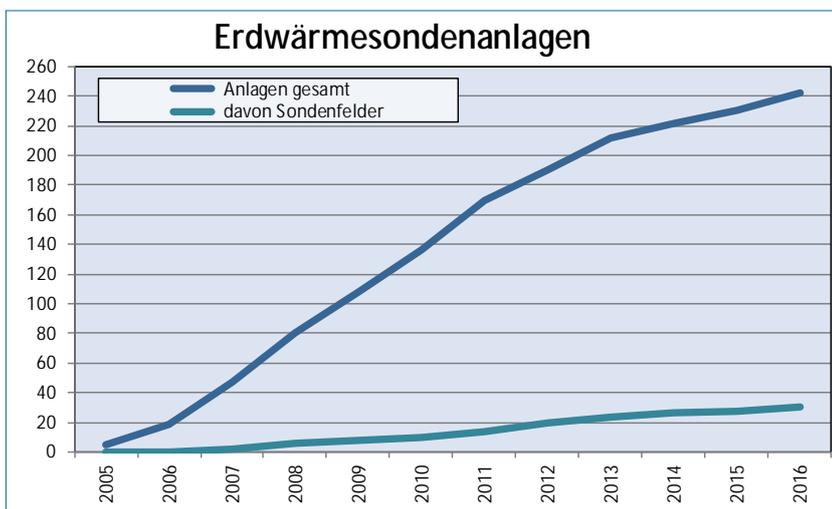


Abbildung 83: Anzahl der errichteten Erdwärmesondenanlagen im Nürnberger Stadtgebiet (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Ende 2016 sind 242 Erdwärmesonden-Anlagen, davon 30 Sondenfelder, in Nürnberg registriert. Insgesamt sind dafür innerhalb von 12 Jahren 1845 Bohrungen in den Untergrund niedergebracht worden, darunter 598 Bohrungen für kleinere, private Anlagen und 1.247 Bohrungen bei den Sondenfeldern (vgl. Abbildung 84).

Es ist zu beachten, dass zum Schutz des Grundwassers hohe wasserwirtschaftliche Anforderungen gestellt werden, vgl. Kapitel 4.1. Die fachgerechte Ausführung darf ausschließlich durch zertifizierte Firmen erfolgen. Zwingend erforderlich ist auch eine fachliche Begutachtung im Rahmen des Erlaubnisverfahrens und eine baubegleitende Bauabnahme durch Private Sachverständige für Wasserwirtschaft.

Wichtiger Bestandteil einer Erdwärmesonden-Anlage ist die Wärmepumpe. Bei Einfamilienhäusern kommen Wärmepumpen mit einer Leistung von 10 bis 15 kW zum Einsatz. In Abbildung 85 ist ein Überblick der bei Erdwärmesonden-Anlagen mittels Wärmepumpen installierte Heizleistung in Kilowatt (kW) erstellt.

Bei dem in Nürnberg bislang größten Sondenfeld an der Fürther Straße aus dem Jahr 2012 wurden 158 Sonden mit einer Tiefe von je etwa 80 m und einer Heizleistung von 620 kW sowie einer Kühlleistung von 520 kW errichtet.

Insgesamt beträgt die gesamte Leistung aller seit 2005 eingerichteten Erdwärmesondenfelder ca. 8,6 Megawatt.

Als Ergebnis einer Umfrageaktion des Umweltamtes zu den Erfahrungen der Betreiber von Erdwärmesondenanlagen im Jahr 2013 lässt sich feststellen:

- überwiegend positive Bewertung der Anlagen,
- die Heizungsanlagen sind weitgehend störunanfällig und wartungsarm.

Über die Lebensdauer und langfristige Sicherheit der Erdwärmesonden-Anlagen werden vermutlich erst in 10 bis 15 Jahren aussagekräftige Erfahrungswerte vorliegen.

Abbildung 84: Anzahl von Bohrungen / Sonden bei privaten Erdwärmesondenanlagen und bei Sondenfeldern (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

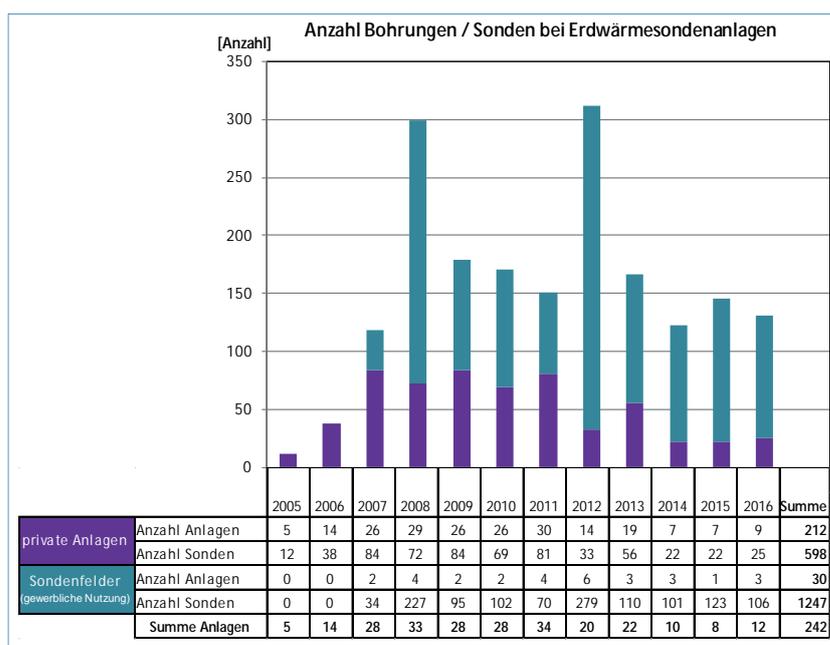
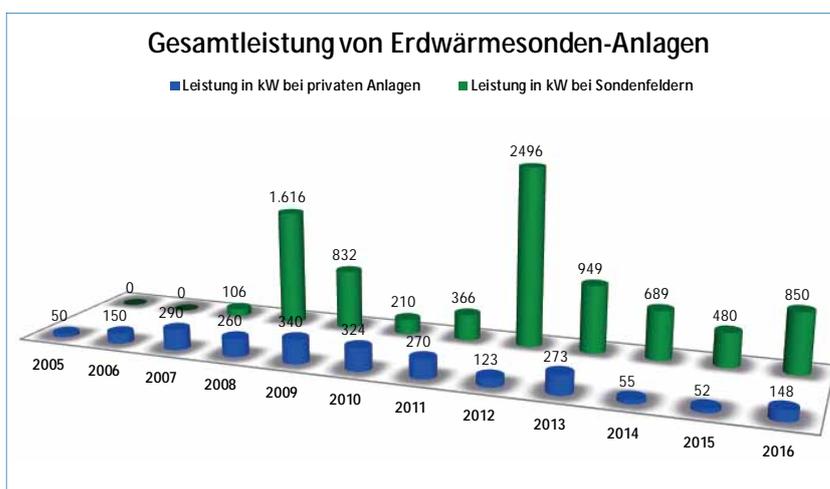
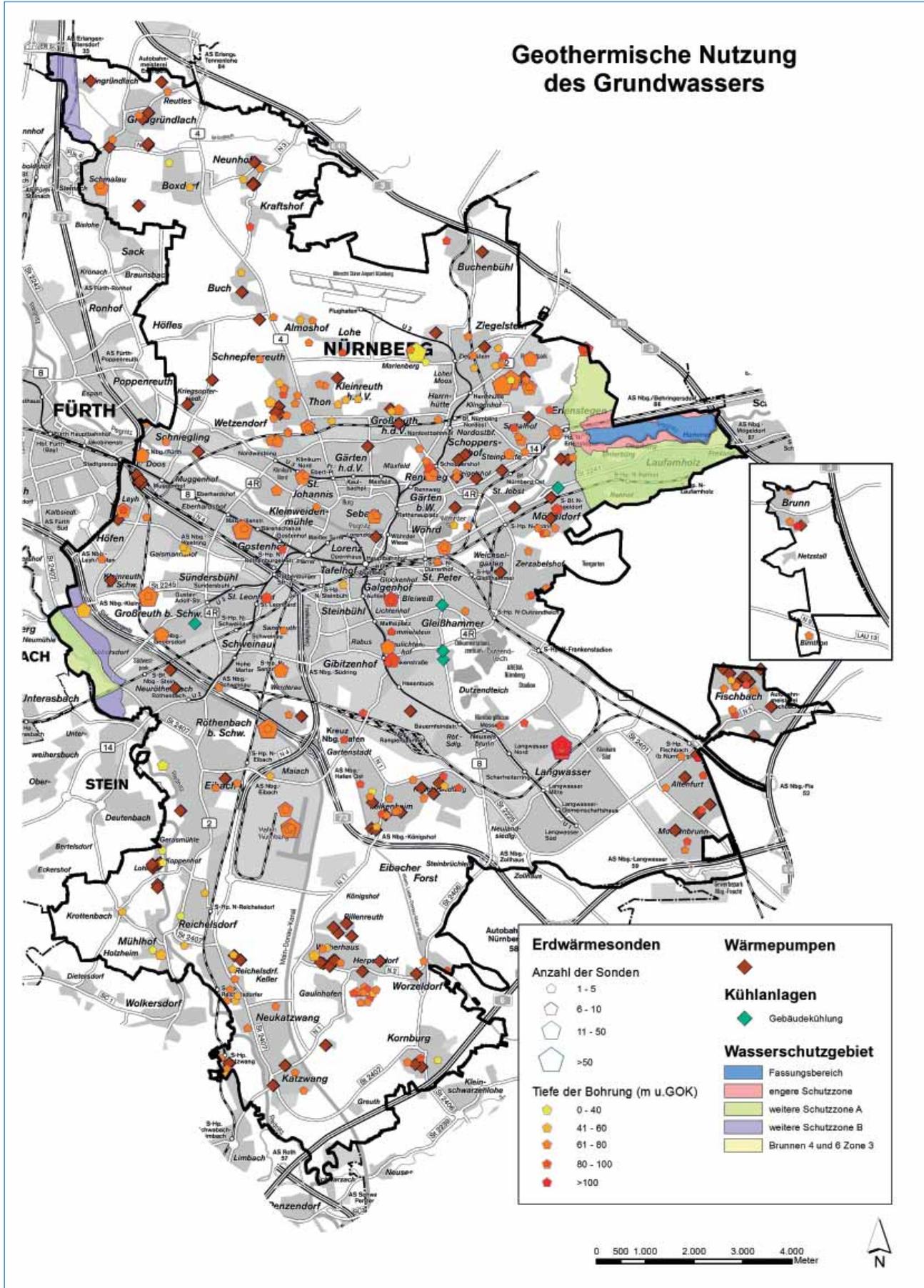


Abbildung 85: Überblick über die installierte Heizleistung bei Erdwärmesondenanlagen laut Genehmigungsunterlagen – Gesamtleistung der je Jahr genehmigten Anlagen. (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



4. Geothermie



Karte 18: Überblick der geothermischen Grundwassernutzung in Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

4.3. Geothermisches Potential des Nürnberger Untergrundes

(GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg – Michael Wehrl)

Für Nürnberg soll das Potential für oberflächennahe Geothermie näher betrachtet werden. Der Flurabstand ist dabei sehr wichtig, da geothermische Anlagen unmittelbar das Grundwasser nutzen oder zumindest effizienter arbeiten, wenn sie mit dem Grundwasser in Kontakt stehen. Vor allem für die Effizienz von Grundwasserwärmepumpen ist ein geringer Flurabstand von Bedeutung. Auch die genaue Kenntnis des Untergrundes ist für die geothermische Nutzung sehr wichtig.

Für die weitere Betrachtung soll das Augenmerk vor allem auf den Grundwassertemperaturen in Nürnberg liegen. Diese werden im Rahmen eines Forschungsprojekts des Lehrstuhls für Angewandte Geologie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg untersucht. Die Untersuchungen beschäftigen sich vor allem mit dem südlichen Stadtgebiet. Daher zeigen die Temperaturkarten auch nur diesen Bereich.

Von 2015 bis 2017 wurden durch Studenten der Universität Stichtagsmessungen an Grundwassermessstellen im gesamten Untersuchungsgebiet durchgeführt. Dabei wurden innerhalb der Grundwassermessstelle jeweils in Meterschritten über die gesamte Tiefe die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit des erschlossenen Grundwasserkörpers gemessen. Für gewöhnlich nimmt die Temperatur pro 10 m Tiefe um 0,3 °C zu [94]. In Oberflächennähe und besonders im Bereich von Städten ergeben sich hier aber oft Abweichungen [95]. Die nachfolgenden Grafiken zeigen jeweils die Temperaturverteilung im Grundwasser für einen Tiefenhorizont von zehn Metern unter der Geländeoberkante in Nürnberg.

Temperaturverteilung im April

In der Karte der Temperaturverteilung (Abbildung 86) ist deutlich eine Zweiteilung zu entdecken. Unter dichter bebauten Gebieten ist der Untergrund deutlich wärmer als unter unbebauten Bereichen.

Besonders deutlich wird das anhand zweier Beispiele. Besonders warm ist das Stadtzentrum, in der Bildmitte gelegen. Dort sind die höchsten Temperaturen erkennbar. Dieses Phänomen ist auch aus anderen Großstädten bekannt. Die hohen Temperaturen werden durch die dichte Bebauung verursacht, die sich auch in den Untergrund ausbreitet. Unter dem Stadtzentrum finden sich viele Tiefgaragen, Keller, Fernwärmeleitungen und U-Bahntunnel [95]. Hier wird auch auf das Kapitel 3.3. verwiesen.

Im Gegensatz dazu sind die unbebauten Bereiche kühler. Besonders deutlich ist das im Nürnberger Osten im Bereich des Schmausenbucks, aber auch im Westen in Richtung Main – Donau – Kanal bei Großreuth. Die dort gemessenen Temperaturen von etwa 9 - 11 °C können als die normale Grundwassertemperatur angesehen werden.

Die Temperaturdifferenz zwischen dem wärmsten und den kältesten Punkten beträgt etwa 7 K.

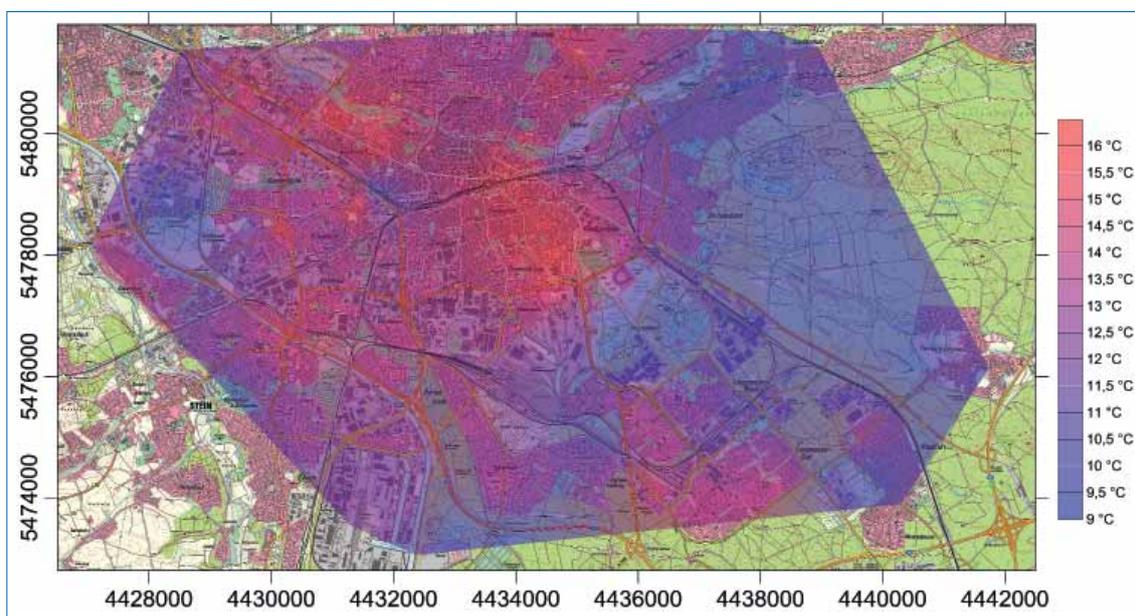


Abbildung 86: Grundwassertemperatur der Stadt Nürnberg im April 10 Meter unter Geländeoberkante (Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; WEHRL, M.)

4. Geothermie

Temperaturverteilung im Juli

Im Gegensatz zur Temperaturverteilung im April zeigt sich im Juli in Abbildung 87 ein anderes Bild.

Die wärmeren Bereiche im Stadtzentrum treten nun nicht mehr so stark zu Tage. Das ist zum Teil dadurch bedingt, dass für den Juli in diesem Bereich weniger Messungen vorliegen, als für die anderen Bereiche. Sehr deutlich ist aber zu sehen, wie stark die Temperaturen im Norden und Westen zugenommen haben.

Es ist auffällig, dass die bebauten Bereiche sehr warm geworden sind, während sich im Osten im Bereich Schmausenbuck die niedrigen Temperaturen gehalten haben. Letztere scheinen auch einen mäßigenden Einfluss auf die Stadtteile Mögeldorf und Langwasser zu haben. Dort ist zwar die Temperatur erhöht, aber nicht in dem Maße wie im Nordwesten des Untersuchungsgebiets.

Temperaturdifferenz zwischen Juli und April

Abbildung 88 zeigt die Differenz der Temperaturen von Juli zu April in zehn Metern unter Gelände im Grundwasser.

In Grün sind die Bereiche gehalten, die etwa konstant in ihrer Temperatur geblieben sind. Wie zu sehen ist, sind das die größten Bereiche im Untersuchungsgebiet. Es ist dabei aber wieder zu beachten, dass im Stadtzentrum auf Grund der reduzierten Datengrundlage weniger Daten vorliegen. Eine Temperaturerhöhung ist hier durchaus möglich.

Zu beobachten ist, dass wir in den dicht bebauten Bereichen durchaus Temperaturerhöhungen von über 2 K haben. Die Steigerung liegt damit in etwa in dem Bereich, den auch andere Untersuchungen feststellen konnten.

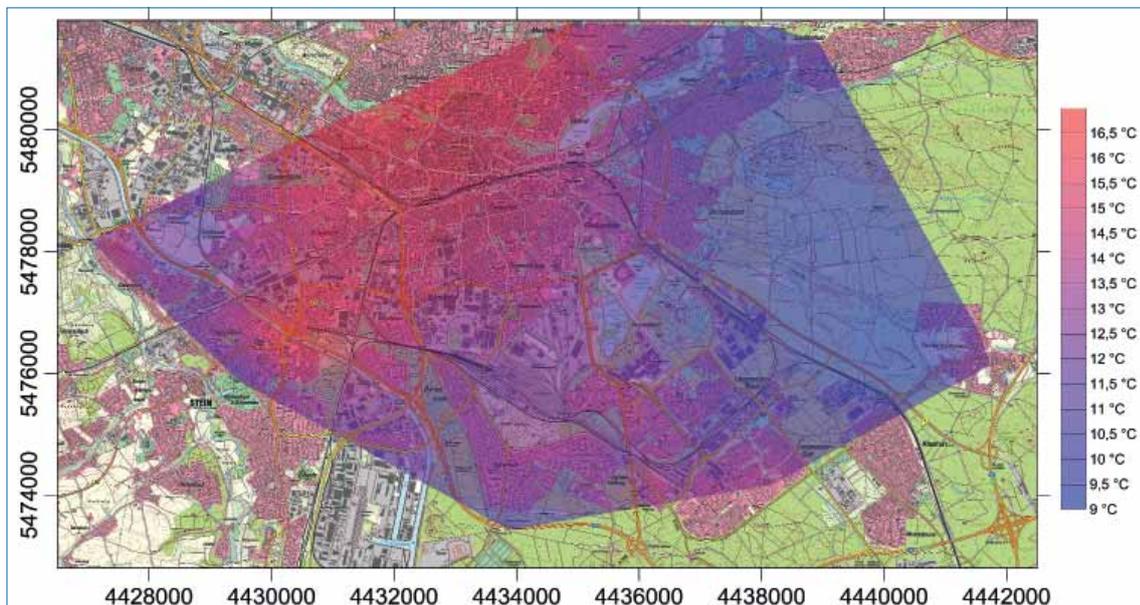


Abbildung 87: Grundwassertemperatur in Nürnberg im Juli in 10 Meter unter Geländeoberkante (Quelle: M. WEHRL)

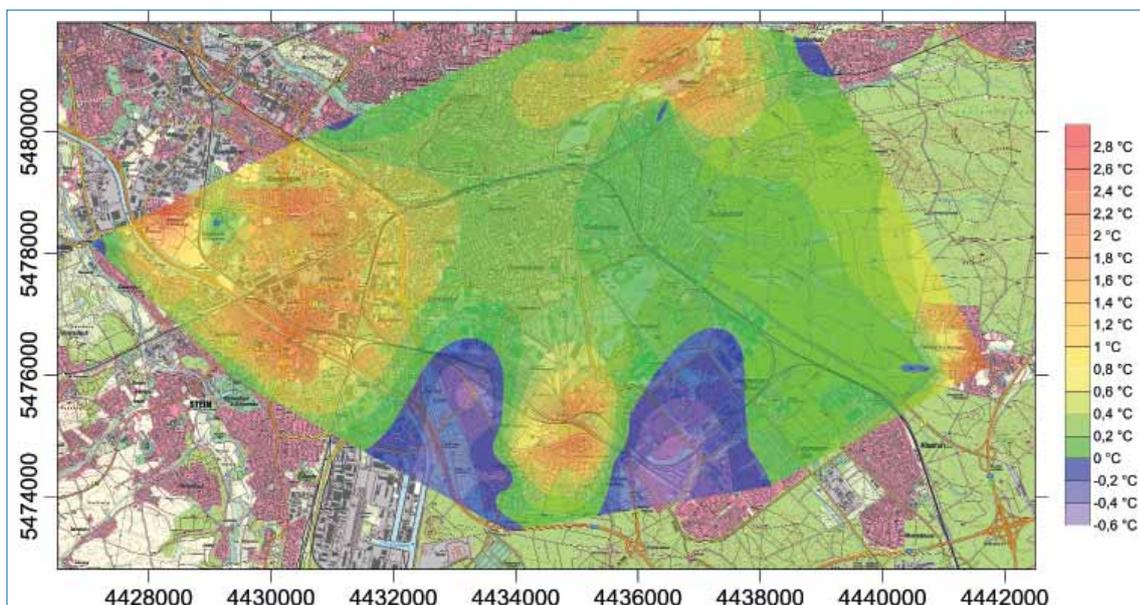


Abbildung 88: Temperaturdifferenz in Nürnberg zwischen Juli und April in 10 m unter Gelände (Quelle: M. WEHRL)

In den Untersuchungen von MENBERG in sechs deutschen Großstädten wird eine Temperaturerhöhung zwischen 1,9 und 2,4 K belegt [95]. Das ist ein Bereich, den wir auch für Nürnberg annehmen und belegen können.

Im Hinblick auf das geothermische Potential kann festgestellt werden, dass überall im untersuchten Bereich die nötige Temperatur für eine wirtschaftlich sinnvolle geothermische Nutzung des Untergrundes bzw. des Grundwassers vorhanden ist [96]. Für den Einzelfall ist natürlich eine detaillierte Untersuchung an der entsprechenden Stelle erforderlich. Besonderes Augenmerk muss darauf gelegt werden, wenn mit Hilfe der Geothermie auch gekühlt werden soll. Durch die hohen Temperaturen im Stadtzentrum kann das Grundwasser relativ warm werden. Das kann die Wirtschaftlichkeit der Anlage beeinflussen.

In den blauen Bereichen hat sich das Grundwasser abgekühlt, das ist wohl auf Einflüsse von außerhalb des Untersuchungsgebiets zurückzuführen. Die Abkühlung ist aber nicht kritisch und würde die Effizienz von geothermischer Kühlung erhöhen. Das Bayerische Landesamt für Umwelt nimmt einen Temperaturbereich zur effizienten Nutzung von Geothermie von etwa 7 - 12 °C an [96].

Wie aber die Temperaturkarten zeigen, liegen auch im relativ kühlen Umland Nürnbergs keine Temperaturen unter 9 °C vor. In Kombination mit der Karte des Flurabstands ist für große Teile Nürnbergs ein gut nutzbares geothermisches Potential auszumachen.

Um sich ein besseres Bild vom nutzbaren Potential machen zu können, werden nun drei beispielhaft ausgewählte Orte näher untersucht. Jeder der Orte steht charakteristisch für einen gewissen Bereich innerhalb der Stadt, in dem die Nutzung von oberflächennahen geothermischen Anlagen interessant sein könnte. Daher wurden eine unbebaute, stadtnahe Grünfläche, eine mitteldicht bebaute Vorstadt und die dicht bebaute Innenstadt ausgewählt. In Abbildung 89 sind die entsprechenden Stellen markiert. Diese Lokationen werden im Folgenden näher betrachtet.

Für die geothermische Nutzung sind die Beschaffenheit des Untergrundes und die Eigenschaften des Grundwassers sehr wichtig. Auch der Flurabstand hat eine große Bedeutung für die geothermische Nutzung. Daher sollen in der Detailbetrachtung auch diese Parameter untersucht werden.

Beim Flurabstand wird u.a. ein Vergleich über mehrere Monate oder Jahre hinweg durchgeführt, um dessen Entwicklung besser dokumentieren zu können. Der Flurabstand wird auch im geologischen Blockbild dargestellt.

Beim Grundwasser muss zusätzlich auch immer dem Wasserchemismus Beachtung geschenkt werden. Hohe Mineralfrachten können dazu führen, dass Ablagerungen Pumpen und Rohre beinträchtigen bzw. blockieren. Das ist vor allem bei Grundwasserwärmepumpen wichtig.

Für die Untergrundanalyse wird jeweils eine Bohrung angeben, um ein besseres Bild des geologischen Unterbaus zu erhalten. Dabei wurden die einzelnen erbohrten Schichten jeweils einer geologischen Einheit zugeordnet.

Nach den geltenden Vorschriften, darf das zweite Grundwasserstockwerk nicht angebohrt werden. Dieses wird in Nürnberg durch den Benker Sandstein gebildet. Daher dürfen schon die überlagernden Estherienschiefer nicht durchbohrt werden. Das ergibt eine Beschränkung der maximal möglichen Bohrtiefe, die für die Wirtschaftlichkeit von Erdwärmesondenanlagen relevant sein kann.

Die Abschätzung erfolgt mittels Abschätzungen der Mächtigkeit der überlagernden Schichten und der Streichkurvenkarte aus den Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50.000 [51]. Erschwert wird die Ermittlung dieser Grenze dadurch, dass diese Grenzschicht durch tektonische Vorgänge nicht eben ist, sondern Sättel und Mulden von mehreren Zehnermetern Höhendifferenz aufweist [51]. Da nur wenige Bohrungen den Benkersandstein überhaupt erreichen, ist dieser Parameter wegen der ungleichmäßigen Schichtmächtigkeit und der schlechten Datengrundlage mit der größten Unsicherheit behaftet.

Wichtiger Hinweis:

Die nachfolgenden Detailbetrachtungen stellen erste grobe Abschätzungen dar und dienen der Veranschaulichung verschiedener Vorbedingungen. Sie können keinesfalls eine Vorerkundung für Planungen durch fachkundige Unternehmen ersetzen.

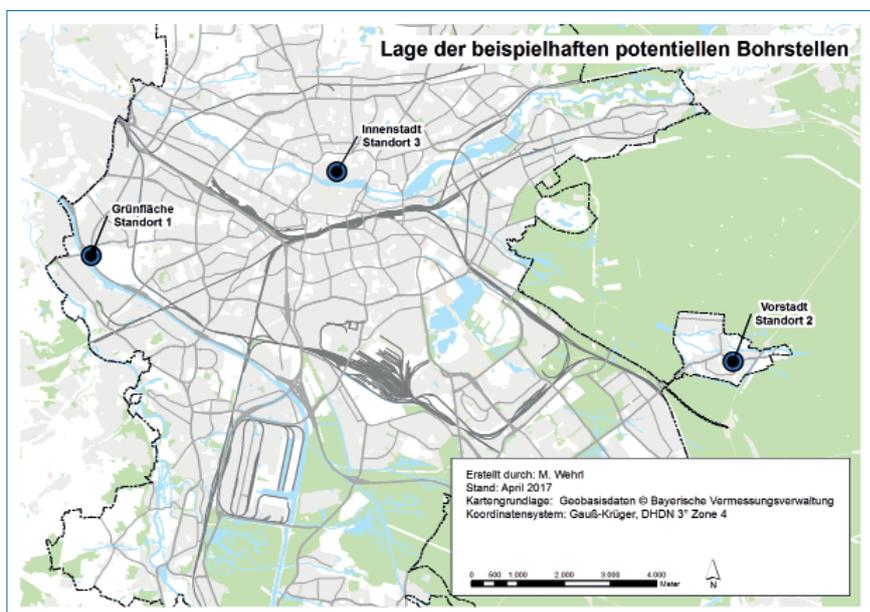


Abbildung 89: Lage der beispielhaften potentiellen Bohrstellen im Stadtgebiet (Quelle: M. WEHRL)

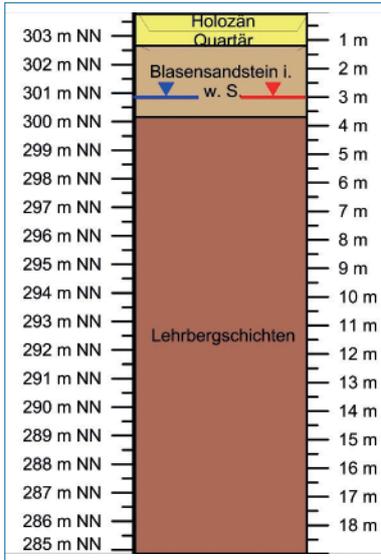


Abbildung 90: Geologisches Bohrprofil der Grundwassermessstelle 9-1224 mit den Flurabständen vom April 2015 (blau) und dem April 2017 (rot), Datengrundlage Stadt Nürnberg, Umweltamt, Flurabstände von BATZ, 2015 [143] und WILLACKER 2017 [117] (Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; M. WEHRL)

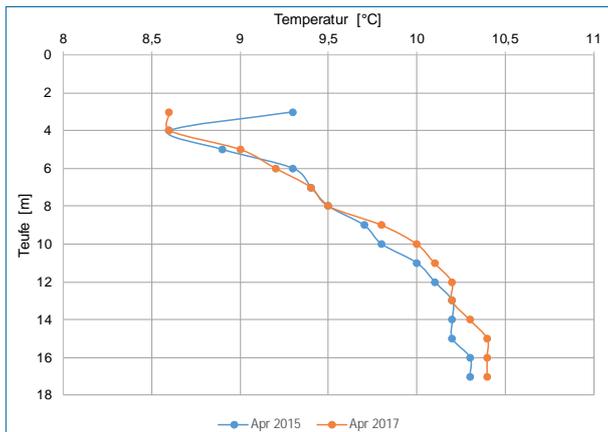


Abbildung 91: Vergleich der Temperaturkurven der Messstelle 9-1224 aus April 2015 und April 2017 (Daten von BATZ, 2015 [143] und WILLACKER, 2017 [117]) (Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; M. WEHRL)

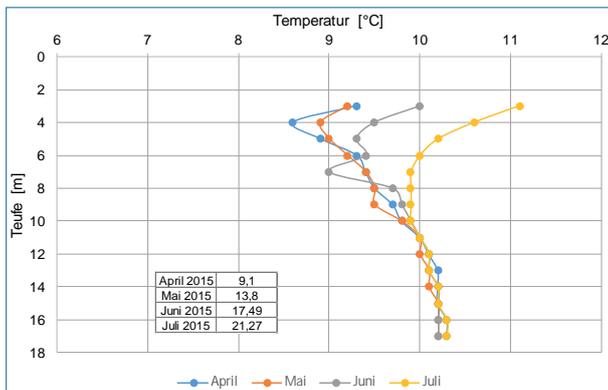


Abbildung 92: Temperaturverlauf von April bis Juli 2015 (Daten von BATZ, 2015 [143]) mit Monatsmitteln der Lufttemperatur [144] (Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; M. WEHRL)

Standort 1: die unbebaute, stadtnahe Grünfläche

Zunächst soll eine stadtnahe, unbebaute Grünfläche näher betrachtet werden. Sie befindet sich im Südwesten des Stadtgebietes in Großreuth b. Schweinau in der Nähe des Main – Donau – Kanals.

Die Abbildung 90 beschreibt den geologischen Schichtenaufbau, der durch die Bohrung einer Grundwassermessstelle erschlossen wurde. Die einzelnen erbohrten Schichten sind den geologischen Einheiten zugeordnet.

In dem, in Abbildung 90 gezeigten, Bohrprofil ist zu sehen, dass die jüngste oberste Schicht, die dem Holozän zugeordnet ist, hier nur sehr dünn ist. Direkt darauf folgt das Quartär, das an dieser Stelle auch nur geringmächtig auftritt. Im Anschluss daran folgt der Blasensandstein im weiteren Sinne. Es handelt sich dabei um Sandsteine, die oft tonige Lagen oder Linsen aufweisen. Unterlagert werden diese Schichten durch die Lehrbergsschichten. Das sind oft rot gefärbte, sandige Ton- und Siltsteine, manchmal von sandigen Lagen unterbrochen.

Aus der Arbeit von BERGER [51] lässt sich grob eine mögliche maximale Bohrtiefe von etwa 50 m abschätzen. In der Nähe dieses Bereichs befindet sich eine große Störung, was einen großen Einfluss auf die Bohrtiefe haben kann. Bei Störungen kommt es zu einem Versatz der geologischen Schichten, so dass die Schichten auf engem Raum in unterschiedlichen Tiefen angetroffen werden.

In Abbildung 90 sind im Bereich des Blasensandsteins zwei Markierungen eingefügt. Es handelt sich dabei um die Flurabstände. Die blaue Markierung steht für den Flurabstand im April 2015, die rote Markierung für den Flurabstand im April 2017. Es zeigt sich, dass sich der Flurabstand an dieser Stelle relativ konstant verhält. Beide Markierungen liegen nahezu auf der gleichen Höhe bei etwa 3 m unter Gelände.

Einen ersten Eindruck der Temperaturverteilung im Untergrund gibt der Vergleich der Temperaturkurven von April 2015 und April 2017. Dafür wurden jeweils in Meterabständen innerhalb der Grundwassermessstelle Temperaturmessungen vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 91 dargestellt.

Deutlich ist zu sehen, dass sich die Temperaturkurven sehr gut vergleichen lassen, nur auf dem ersten Meter gibt es deutliche Unterschiede. Ein Blick auf die Monatsmitteltemperaturen der Luft zur Zeit der Messungen zeigt direkt die Erklärung dafür. Die Durchschnittstemperaturen im April 2015 lagen bei 9,1 °C, während die Durchschnittstemperatur im April 2017 nur bei 8,3 °C lag [144]. Die wärmeren Temperaturen haben einen Einfluss auf den obersten Bereich im Grundwasser, der zu der Erwärmung geführt hat. Es ist aber deutlich zu sehen, dass sich dieser Effekt nicht in größeren Tiefen abbildet.

Die Temperatur an der Oberfläche hat aber dennoch Auswirkungen auf die Temperaturen im Untergrund. In Abbildung 92 sind die Temperaturverläufe von April bis Juli in einem Diagramm zusammengefasst. Mit dargestellt sind die Monatsmitteltemperaturen der Luft, um sich ein Bild der entsprechenden Witterung machen zu können [144].

Es ist sehr deutlich, dass die hohen Temperaturen im Juli 2015, der ein sehr warmer Monat war, einen großen Einfluss auf die Grundwassertemperatur bis in Tiefen von zehn Metern unter Gelände ausüben. Aber ab dieser Tiefe laufen die Graphen wieder zusammen und es zeigt sich ein einheitlicher Verlauf.

Mit diesen Daten lässt sich ein erstes Fazit zum Standort 1 ziehen:

- Grundwasserwärmepumpen wären theoretisch möglich, müssten aber wegen der tonigen Lehrbergschichten sehr genau auf ihre Einsatzfähigkeit untersucht werden.
- Erdwärmekollektoren müssten im Fels verlegt werden, was den Einsatz ausschließt.
- Ein Problem für Erdwärmesonden stellt die hier voraussichtlich geringe zulässige Bohrtiefe aufgrund der geringen Tiefenlage des zweiten Grundwasserstockwerkes dar, die nur Sondenlängen von maximal ca. 50 m zulässt. Die geringe Bohrtiefe verringert die Effizienz der Anlage und führt dazu, dass zusätzliche Bohrlöcher gebohrt werden müssten. Die Tiefenangabe ist aber nur eine Abschätzung, und unterliegt großen Schwankungen, insbesondere in der Nähe der Rednitztalstörung. Technisch sind Sonden hier grundsätzlich einsetzbar. Der Flurabstand ist mit etwa drei Metern gut geeignet. Als mittlere Temperatur ist mit etwa 10 °C zu rechnen, was im nutzbaren Bereich liegt [96].
- Keiner der gängigen Anlagentypen wäre hier gut geeignet. Die Erdwärmesonden haben wegen der geringen Bohrtiefe Effizienzeinbußen, die Grundwasserwärmepumpe wäre in tonigem Untergrund schwer einzusetzen und der Untergrund schließt Kollektoranlagen aus.

Standort 2: die mitteldicht bebaute Vorstadt

Als Standort 2 wurde eine mitteldicht bebaute Vorstadt gewählt. Im Beispiel ist das der Stadtteil Fischbach. Dort ist die Bebauung wesentlich dichter als am Standort 1, aber lange nicht so dicht, wie im Stadtzentrum. Vor allem im Untergrund ist deutlich weniger Infrastruktur, wie U-Bahnen oder Tiefgaragen, verbaut.

Die Detailbetrachtung startet wieder mit einem geologischen Profil:

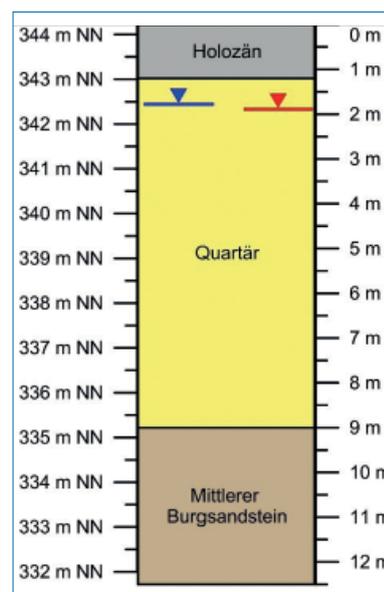


Abbildung 93: Geologisches Blockbild der Grundwassermessstelle 9-430 mit den Flurabständen aus dem April 2015 (blau) und dem Juli 2015 (rot), Daten von MARLIN [97] und dem Umweltamt Nürnberg (Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; M. WEHRL)

Im Vergleich zum ersten Bohrprofil (Abbildung 90) ist hier die holozäne Abfolge deutlich mächtiger (Abbildung 93). Auch Bauschutt und künstliche Aufschüttungen sind mit einbezogen. Dass diese Schicht im Bereich einer Siedlung deutlich mächtiger ist, als im Bereich einer Grünfläche, ist leicht nachvollziehbar. Auffällig ist aber auch die starke Mächtigkeitszunahme der quartären Schichtenfolge. In Fischbach treten auch verschüttete quartäre Rinnen auf, was die hohe Mächtigkeit der quartären Ablagerungen erklärt. Unterlagert werden die relativ jungen Schichten von den Gesteinen des Mittleren Burgsandsteins. Dabei handelt es sich um einen Sandstein, der auch Tonlagen beinhalten kann. Auf Grund einer geologischen Muldenlage ergibt die grobe Abschätzung der maximalen Bohrtiefe (Oberkante Benker Sandstein) hier einen Wert von ca. 130 m [51].

Auch in diesem Fall ist der Flurabstand markiert. In Blau ist der Flurabstand aus dem April 2015 markiert und in Rot der Flurabstand von Juli 2015 dargestellt. Der Flurabstand vom Juli ist im Vergleich zu April leicht vergrößert, insgesamt aber mit weniger als zwei Metern eher geringfügig. So geringe Flurabstände sind in großen Teilen Fischbachs anzutreffen [97]. Auch für Fischbach existieren Untersuchungen zu den Untergrundtemperaturen.

4. Geothermie

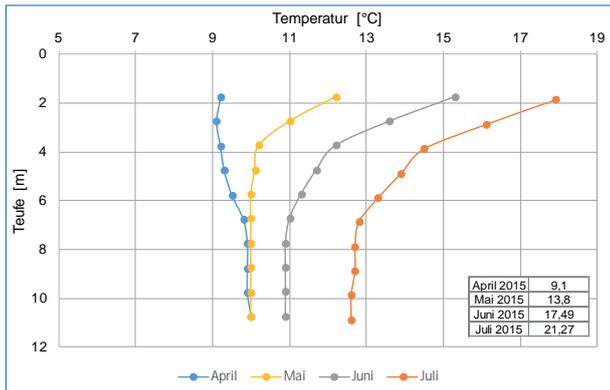


Abbildung 94: Temperaturverlauf in der Grundwassermessstelle 9-430 von April bis Juli 2015 (Daten von MARLIN 2015 [97] mit Monatsmittelwerten der Lufttemperatur DWD [144])
(Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; M. WEHRL)

Auch in Abbildung 94 ist zu sehen, dass die Temperaturkurven von April und Mai konvergieren. Für Juni und Juli ergeben sich aber Abweichungen, die bis zum Ende der Messstelle Auswirkungen haben. Diese stärkere Erwärmung ist durch die Lage der Messstelle erklärbar.

Sie liegt an einer Straße in einem versiegelten Bereich. Dieser Bodenbelag leitet die Wärme besser in den Boden als es Bewuchs leisten kann. Zudem wird das Bild dadurch beeinflusst, dass diese Messstelle nicht so tief ausgebaut wurde, wie die an Standort 1. Dadurch ist eine eventuelle Konvergenz schwerer zu erkennen.

Das Fazit für Standort 2 ist durchaus positiv.

- Der Flurabstand ist gering, der Untergrund durch den sandigen Aufbau auch noch günstiger, da im Sand das Wasser besser fließt, als im tonigen Gestein. Das ist vor allem für Grundwasserwärmepumpen sehr günstig, die Wasser aus Brunnen fördern.
- Für die Erdwärmekollektoren wäre etwas tonigeres Material in Oberflächennähe besser [98].
- Auch die Temperaturverteilung ist positiv zu bewerten. In Fischbach konvergieren die Linien im Bereich von etwa 11 m bei etwa 10 °C. Die hohe mögliche Bohrtiefe verursacht auch kein Hindernis. Daher ist hier von einem guten Potential für oberflächennahe Geothermie auszugehen.

Standort 3: die dicht bebaute Innenstadt

Der dritte Standort liegt in der dicht bebauten Innenstadt von Nürnberg am Rande der Altstadt. Dort sind im Untergrund viele Infrastruktureinrichtungen verbaut: Tunnel der U-Bahn, große Abwasser- und Fernwärmeleitungen, Tiefgaragen und Gebäude mit großen Kellern. All diese Bauten im Untergrund führen dazu, dass sich dieser erwärmt, wie es auch andere Studien bereits festgestellt haben [95].

Zunächst wieder der Blick auf den geologischen Aufbau des Untergrunds (Abbildung 95):

Beim Standort 3 sind die holozänen Schichten sogar noch mächtiger als beim Standort 2. Das kommt daher, dass in der Innenstadt mächtige künstliche Aufschüttungen vorhanden sind. Es folgen nochmals etwa fünf Meter an quartären Sedimenten, auf die wiederum der Blasensandstein im weiteren Sinne folgt. Er wurde bereits als Sandstein, der tonige Linsen und Knollen, aufweisen kann, beschrieben. Die grobe Abschätzung der maximal möglichen Bohrtiefe ergibt hier einen Wert von etwa 80 m [51].

Es sind in Abbildung 95 wieder die Flurabstände eingetragen. In Blau ist der Flurabstand aus dem Jahr 2016 eingetragen, in roter Farbe der Wert aus dem Jahr 2017. Auch hier sind die Werte relativ konstant geblieben. Auffällig sind aber die durchweg sehr großen Flurabstände von etwa elf Metern. Diese lassen sich aber zumindest zum Teil durch die sehr mächtigen anthropogenen Aufschüttungen erklären, die über sechs Meter Mächtigkeit aufweisen. Diese greifen

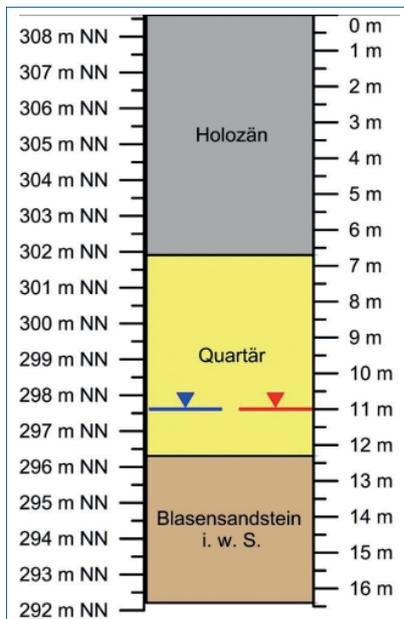


Abbildung 95: Geologisches Blockbild der Grundwassermessstelle 9-63 mit den Flurabständen aus dem April 2016 (blau) und dem April 2017 (rot) mit Daten vom Umweltamt Nürnberg und Flurabständen von RAMMLER, 2016 [119] und KRANZ, 2017 [123]
(Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; M. WEHRL)

nicht in den Grundwasserkörper ein. Für Grundwasserwärmepumpen ist der hohe Flurabstand bei der Prüfung der Wirtschaftlichkeit mit einzubeziehen.

Interessant ist, ob die Ähnlichkeiten in den Flurabständen auch in den Temperaturen widerspiegelt werden. Aus Abbildung 96 ist ersichtlich, dass sich die Temperaturkurven äußerst ähnlich verhalten. Es sind nur an der Oberfläche kleinere Abweichungen vorhanden. Auffällig ist jedoch die hohe Temperatur des Grundwassers. Um diese Auffälligkeit zu überprüfen, ist es zweckmäßig den Temperaturgang über mehrere Monate hinweg zu beobachten.

Aus Abbildung 97 wird ersichtlich, dass die hohen Temperaturen auch im längeren Verlauf relativ konstant sind. Im Gegensatz zu den anderen beobachteten Temperaturkurven kommen jahreszeitliche Schwankungen so gut wie nicht vor. Lediglich der Wert aus dem Juli ist minimal erhöht. Das kann durch den hohen Flurabstand erklärt werden, der die Schwankungen der Lufttemperatur nur bedingt weitergibt und durch die ganzjährig vorhandenen Einflüsse der Bebauung, die für die Erwärmung des Untergrundes sorgen [95].

Als Fazit für den Standort 3 bleibt zu sagen, dass hier nicht alle gängigen geothermischen Anlagen möglich sind.

- So scheiden die Erdwärmekollektoren wegen ihres hohen Flächenbedarfs aus.
- Auch offene Systeme müssen unter Vorbehalt betrachtet werden, da es hier auf die Wasserqualität ankommt. Hohe Mineral- oder Schadstofffrachten würden diese Technik ausschließen. Zudem muss dem hohen Flurabstand und der damit nötigen höheren Pumpleistung bei der Planung Beachtung geschenkt werden.
- Erdwärmesonden dagegen sind hier gut einsetzbar, da sie wenig Platz benötigen und auch die Bohrtiefe ausreichend ist.
- Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz erdberührender Betonbauteile. Auch diese Technologie wäre hier gut einsetzbar.
- Bei Anlagen, die für die Kühlung von Gebäuden genutzt werden sollen, ist eine besondere Betrachtung der hohen Temperaturen im Grundwasser nötig, da sie die Effizienz der Anlage senken können.

Fazit

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Bedingungen für oberflächennahe Geothermie im Stadtgebiet von Nürnberg vielversprechend sind. Es kommt dabei aber auf Grund der oben aufgezeigten vielfältigen Ausgangsbedingungen sehr auf eine gute Planung und Vorerkundung durch qualifizierte Fachbüros an. Nur so kann erreicht werden, dass die Anlagen mit höchstmöglicher Effizienz arbeiten können. Jede technische Variante hat Vor- und Nachteile. Bei genauer Erkundung der Standortbedingungen kann die optimale Variante ermittelt und eingesetzt werden. Dann ist die Geothermie eine echte Alternative zu den herkömmlichen Klimatisierungs- und Heiztechniken.

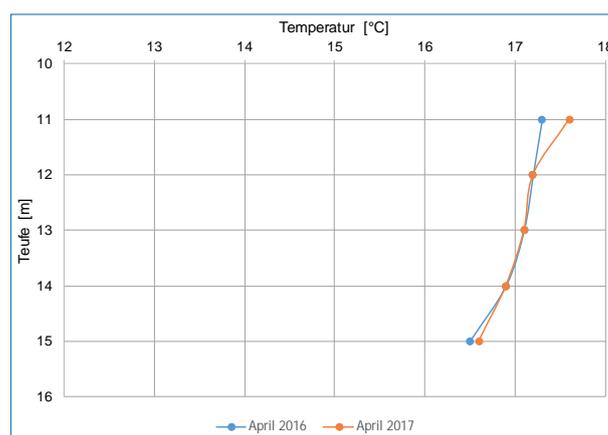


Abbildung 96: Vergleich der Temperaturkurven der Messstelle 9-63 vom April 2016 und April 2017 mit Daten von RAMMLER 2016 [119] und KRANZ, 2017 [123]

(Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; M. WEHRL)

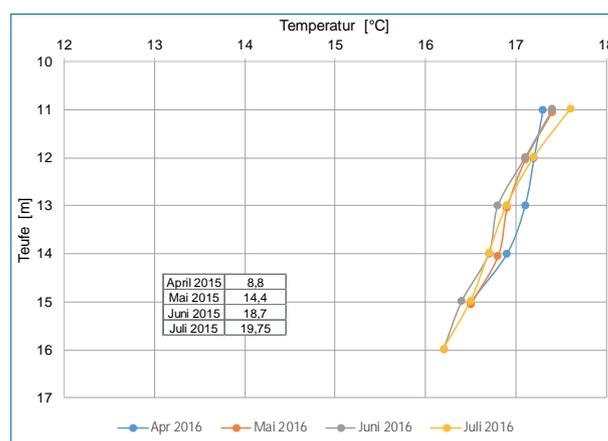


Abbildung 97: Temperaturverlauf in der Messstelle 9-63 von April bis Juli 2016 mit Daten von RAMMLER, 2016 [119] mit Monatsmittelwerten der Lufttemperatur DWD [144]

(Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg; M. WEHRL)

4.4. Anwendungstechnik zur Nutzung der Geothermie

(GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg – Anna Prieß)

Mit oberflächennaher Geothermie lässt sich Heizen und / oder Kühlen

Die (geo-)thermische Nutzung des Untergrunds erfolgt über Wärmeübertrager (offen / geschlossen) die vertikal, schräg oder horizontal in den Untergrund eingebracht werden. Die Wärmeübertragung erfolgt über ein Wärmeträgerfluid. In geschlossenen Wärmeübertragern zirkuliert ein Fluid, in offenen Systemen erfolgt der Wärmetransport direkt über das Grundwasser (vgl. Kapitel 4.1). Das Wärmeträgermedium zirkuliert mithilfe einer Umwälzpumpe in einem geschlossenen Kreislauf zwischen Wärmequelle und dem Verbraucher.

Soll mithilfe einer Geothermieanlage geheizt werden, erfolgt der Anschluss der Wärmeübertrager an eine Wärmepumpe (erdgekoppelte Wärmepumpenanlage). Die Wärmepumpe hebt das Temperaturniveau nach Bedarf des Endnutzers.

Die gebäudeseitige Heizwärme setzt sich vorwiegend aus Erdwärme (> 75%) und zu einem geringen Anteil aus elektrischer Energie zusammen (elektrische Antriebsenergie für Wärme- sowie Umwälzpumpe). „Das Verhältnis aus jährlich gelieferter Wärme zu jährlich aufgenommener elektrischer Antriebsenergie“ [99] wird als Jahresarbeitszahl (JAZ) beschrieben.

Ein polyvalenter Betrieb der Wärmepumpenanlage und die Kombination mit Solarthermie / Photovoltaiksystemen ist möglich.

Für Kühlanwendungen kann eine Geothermieanlage mit konventionellen Kühlsystemen kombiniert (Vorkühlung, Freiluftkühlung), an eine Kältemaschine angeschlossen und zum sog. „free cooling“ (ohne Kältemaschine) eingesetzt werden. Hierbei wird Fremdenergie / zusätzliche Energie nur für eine Umwälzpumpe des Wärmeträgerfluids benötigt. Das Wärmeträgerfluid nimmt die Abwärme über einen Wärmetauscher auf und führt sie in den Untergrund ab.

In Abhängigkeit der Anforderungen des Energienutzers / -abnehmers und dessen Nutzerprofil ist ein kombinierter Heiz- und Kühlbetrieb möglich.

Weiterhin ist der Einsatz als unterirdischer thermischer Speicher für saisonale Nutzungen oder als Redundanz (oder Pufferspeicher) realisierbar.

Einsatzbereiche

Geothermische Anlagen sind eine sinnvolle und nachhaltige Alternative zu herkömmlichen „Heizungssystemen.“

Neben Passiv- und Plusenergiehäusern lohnt sich der Einsatz von geothermischen Anlagen langfristig für Neubauten und Sanierungen von privaten und gewerblichen Gebäuden. Der Kühlbedarf großer Gebäude, z.B. Bürokomplexe, Verwaltung und öffentliche Einrichtungen kann ebenfalls durch Geothermie gedeckt werden und wirkt sich positiv auf die nutzbare Wärmemenge aus.

Insbesondere in der Kombination mit Niedrigtemperatursystemen (Fußbodenheizung, Betonkernaktivierung, etc.) ist die thermische Nutzung des Untergrunds interessant.

Im gewerblichen Bereich können Werks- und Montagehallen, Klimaräume sowie Gewächshäuser beheizt werden. Geothermie kann im Rahmen der thermischen Eigenschaften des Untergrunds zur Prozesskühlung eingesetzt werden. Die Kühlung von Serverräumen und -farmen kann mithilfe von geothermischen Anlagen realisiert werden.

Neben der Temperierung von Privathaushalten und gewerblichen Bauwerken kann oberflächennahe Geothermie zur Schnee- und Eisfreihaltung von Infrastrukturbauwerken und sensiblen Personenverkehrsflächen eingesetzt werden.

Flächen mit starkem Enteisungsbedarf sind beispielsweise Fahrbahnen von Brücken, Rollfelder und Landeplätze, Parkplätze, Bus- und Bahnsteige inkl. aller Zugänge, Unterführungen, innerstädtische Fußgängerbrücken.

Geothermisch beheizte Bahnsteige aus vorkonfektionierten Betonbauteilen sind bereits an mehreren Standorten in Deutschland realisiert worden. Die geothermische Temperierung von sensiblen Nutz- und Verkehrsflächen ist weltweit verbreitet.

Geothermische Freiflächentemperierungen kommen weiterhin zur Weichenheizung und auf Rasensportplätzen zum Einsatz.

Die Lebensdauer von Verkehrswegen und Infrastrukturbauwerken kann durch eine geothermische Temperierung verlängert werden, da der Streusalzeintrag und temperaturbedingte Fehlstellen bzw. Spurrillen verringert sowie die Umweltbelastung durch Chlorideintrag reduziert werden können.

Technische Umsetzung

In Abhängigkeit der (hydro-) geologischen Standortbedingungen wird zunächst der Einsatz von offenen und geschlossenen Wärmeübertragern abgewägt.

Die häufigsten Bauformen (Grundwasserbrunnen, Erdwärmekollektoren und -sonden) sind im Kapitel 4.1 beschrieben, im Folgenden soll auf die bautechnischen Aspekte eingegangen werden:

Erdwärmekollektoren und sog. Helix- und Spiralkollektoren kommen in geringen Gründungstiefen zum Einsatz, sind nicht überbaubar und sind hauptsächlich für ausschließliche Gebäudeheizung (z.B. Einfamilienhaus) geeignet.

Erdwärmesonden können bis in große Tiefen eingebaut, überbaut und für kombinierte Heiz- und Kühlanwendungen eingesetzt werden. Der Einbau unter Fundamenten ist möglich, aber nicht immer sinnvoll. Sind die räumlichen Bedingungen limitiert, können Erdwärmesonden schräg in den Untergrund eingebracht oder der Einsatz thermoaktiver Gründungselemente (siehe unten) diskutiert werden.

Für die Errichtung einer Erdwärmesondenanlage sind umfassende Bohr- und Erdbauarbeiten nötig. Zunächst werden die eigentlichen Erdwärmesonden (i.d.R. Doppel-U-Sonden oder Koaxialsonden) eingebaut. Die horizontalen Anbindeleitungen der einzelnen Erdwärmesonden werden in einem Verteilerschacht zu einer Sammelleitung zusammengefasst und zum Verbraucher geführt. Nach dem Verfüllen und Verdichten der Leitungsgräben ist die Erdwärmesondenanlage an der Geländeoberfläche nicht mehr sichtbar und optional auch mit schweren Fahrzeugen überfahrbar (z.B. in Feuerwehrzufahrten).

Gerade bei großen Projekten ist die Abstimmung und Schnittstellendefinition unterschiedlicher Gewerke von großer Bedeutung. Weiterhin sind zahlreiche Sondernutzungsformen und -bauarten möglich.

Um beispielsweise die Antriebsenergie für die Fluidzirkulation zu reduzieren, können sog. Heat Pipes eingesetzt werden. Wärmeträgerfluide mit einem geringen Siedepunkt verdampfen dabei innerhalb des Wärmerohrs. Die Verdampfungsenergie wird an den Nutzer abgegeben. Dabei kondensiert das Fluid und wird anschließend durch Erdwärme erneut bis zum Siedepunkt erhitzt. Anwendung finden die Heat Pipes dezentral und zur Schnee- und Eisfreiheit.

An Tunnelbauwerken und ehemaligen Bergbaustandorten ist Berg- bzw. Grubenwasser sowie Drainagenwasser thermisch nutzbar.

Überschüssige, in den Untergrund eingebrachte Wärme, insbesondere im urbanen („urbane Wärmeinseln“) und industriellen Zusammenhang ist „weiterverwendbar“. Beispielsweise kann die Wärme von Abwasser- und Kanalleitungen mit vorkonfektionierten Bauteilen nutzbar gemacht werden.

Synergieeffekte durch thermoaktive Bauteile

Limitierender Faktor für „klassische“ erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen sind oft die Tiefbauarbeiten.

Eine Einsparung von Installations- und Bohrkosten kann durch den Einsatz thermisch aktivierter erdberührter Bauteile und Gründungselemente erreicht werden.

Die Doppelnutzung konstruktiver Bauteile als Wärmetauscher und als statisches Element bietet ein großes Anwendungspotential im Tiefbau.

Dazu werden (bewehrte) Betonbauteile, wie z.B. Energiepfähle, -anker, -schlitzwände, -bodenplatten und Verbaulemente mit zusätzlichen Kunststoffrohren ausgestattet. Als geschlossener Wärmeübertrager werden sie anschließend zur thermischen Nutzung des Untergrunds eingesetzt. Das Gründungselement erfüllt somit einen erforderlichen statischen und einen zusätzlich energetischen Nutzen.

„Endlose“ Kunststoffrohre werden an der nach statischen Erfordernissen bemessenen Bewehrung mäandrierend oder spiralförmig fixiert. Die Befestigung kann vorab oder vor Ort erfolgen. Anschließend wird die Bewehrung des Gründungselements nach Stand der Technik eingebaut. Während des Betoniervorgangs sind die Absorberleitungen analog zum Einbau einer Erdwärmesonde wassergefüllt (und ggfs. mit Überdruck beaufschlagt). Durchführungen und Anbindungen sind weiterhin auch druckdicht und in wasserundurchlässigem Beton (WU Beton) ausführbar.

Die Schnittstellendefinition (Übergabepunkte) zu anderen Gewerken, interdisziplinäres Zusammenwirken und Bewusstsein ist hier von zentraler Bedeutung.

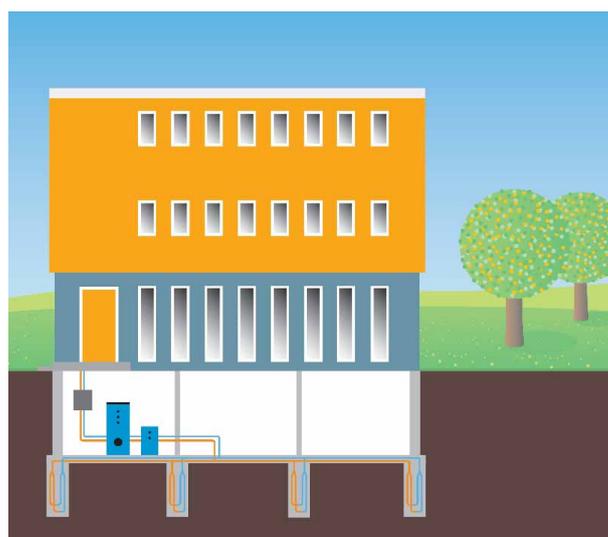


Abbildung 98: Gründungselemente mit zusätzlicher energetischer Nutzung des Untergrunds über Wärmetauscher (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt)

Generell lässt sich jedes (flächige) erdberührte Bauteil thermisch aktivieren. Die relativ großen Mantelflächen von Abwasserkanälen und Tunnelbauwerken bieten sich zur thermischen Nutzung an.

In Bezug auf Tunnelbauwerke sind folgende konstruktive (Beton-) Bauteile energetisch aktivierbar: Tübbings, Grundwasserdrainagen, Vliese / Trennfolien zwischen Innen- und Außenschale sowie die Außenschale selbst. Von einer Belegung der Innenschale ist u.a. aus statischen Gründen abzusehen.

Rammpfähle oder Betonfertigteile für Bahnsteige und Rohrleitungen sowie Tübbinge können ab Werk vorkonfektioniert werden.

Überdies hinaus können Tiefbauwerke nicht nur als Wärmeenergieabsorber, sondern auch als Wärmeenergieverbraucher konstruiert werden (Freiflächen- und Fahrbahnthermierung, siehe oben).

Zusammenfassung

Für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement für zukünftige Generationen muss unser (Primär-) Energieverbrauch kritisch überdacht werden.

Erneuerbare Energien können einen entscheidenden Beitrag zur Senkung des weltweiten CO₂-Ausstoßes und zur Eindämmung der globalen Erwärmung leisten.

Die oberflächennahe Geothermie ist dabei eine unterschätzte Technologie, sie bietet umweltfreundliches, ressourcenschonendes, wirtschaftliches Heizen und / oder Kühlen sowie eine Erhöhung der Betriebssicherheit und der Lebensdauer von Bauwerken. Das Umwelt- und Sicherheitsrisiko ist bei qualifizierter Planung und Durchführung minimal.

Die Entscheidung zu einer geothermischen Lösung ist sinnvoller Weise in einer frühen Planungsphase zu treffen, damit sie bei Baugrunderkundung und Gründungskonzept berücksichtigt werden kann.

Erforderliche Investitionskosten für eine erdgekoppelte Wärmepumpenanlage stehen einer langfristig wirtschaftlichen Bauwerkstemperierung neben steigenden Primärenergiepreisen gegenüber. Die Herstellungskosten allein den Kosten einer konventionellen Heiz- und (Kühl)anlage gegenüberzustellen, ist sicherlich zu kurzfristig gedacht.

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zur thermischen Nutzung des Untergrunds sind auch von gesellschaftlicher und politischer Relevanz. Neben einer ökologischen Wertsteigerung ist die oberflächennahe Geothermie ein wirksames Instrument für nachhaltige stadtplanerische Konzepte, wie z.B. eine dezentrale Wärmeversorgung eines „grünen“ Wohnviertels oder die Schnee- und Eisfreihaltung von sensiblen Verkehrsflächen.

Als positiver Nebeneffekt können geothermische Anlagen einen Beitrag zur Senkung von, gegenüber dem Umland, erhöhten Untergrundtemperaturen im urbanen Raum leisten.

5. Grundwasserschutz

Grundwasser ist ein überlebenswichtiges Allgemeingut, da es vor allem auch für die Trink- und Notwasserversorgung benötigt wird. Trink- und Badewasser, Beregnungs- und Brauchwasser müssen besondere gesundheitliche, hygienische oder sonstige qualitative Ansprüche erfüllen. Deshalb muss Grundwasser geschützt werden. Kein leichtes Unterfangen in einer Metropolregion, in dem sehr viele Flächennutzungen auf die, das Grundwasser schützende Deckschichten einwirken und weitere, zahlreiche Bedarfe an Grundwassernutzungen bestehen (vgl. Kapitel 1.4.).

In den Kapiteln zur Grundwasserqualität (vgl. Kapitel 3) wurde aufgezeigt, dass in vielen Bereichen noch immer, trotz der seit den 70er Jahren bestehenden gesetzgeberischen Schutzbestimmungen und der durch die zuständigen Behörden durchgeführten oder veranlassten Maßnahmen Grundwasserverunreinigungen vorliegen, so dass das Grundwasser im Untergrund von Nürnberg in weiten Teilen nicht ohne Vorreinigung über längere Zeit zum Trinken geeignet wäre. Zudem wurde in Kapitel 1.3. und 2.4. aufgezeigt, dass die in der Region vorhandene Grundwasserressource mengenmäßig für eine bedarfsgerechte Versorgung nicht ausreicht.

Es sind daher nach wie vor zahlreiche Anstrengungen zur Verbesserung des Schutzgutes Grundwasser zu unternehmen. In den nachfolgenden Kapiteln wird über Projekte und Arbeitsschwerpunkte berichtet, die einen Beitrag zur Verbesserung der Grundwasserqualität und des Wasserhalts leisten.

Seit vielen Jahren tragen Nürnberger Landwirte durch den integriert-kontrollierten Gemüseanbau und durch Maßnahmen der guten fachlichen Praxis dazu bei, den Stickstoff- sowie Pflanzenschutzmitteleintrag so weit als möglich zu reduzieren [1]. Jedoch sind aufgrund der hier festgestellten hohen Belastungssituation mit Nitraten und Pflanzenschutzmitteln (PSM) die Hauptverursacher Landwirtschaft und Gartenbau verstärkt gefordert, weitere Maßnahmen zu ergreifen. Staat und Kommunen können zudem Anbaumethoden unterstützen, die durch ihre besonders umweltschonende Wirtschaftsweise den Nitrat- und PSM-Eintrag weiter reduzieren helfen.

Der vorsorgende Schutz hat für die Ressource Grundwasser eine sehr hohe Bedeutung. Über den Schutz der Trinkwasservorräte sowie die gesetzlichen Grundwasser- und Gewässer-Schutzbestimmungen wurde bereits im Grundwasserbericht 2011 [1] berichtet, weshalb an dieser Stelle darauf verwiesen wird.

Der nachsorgende Grundwasserschutz (Erkundung und Sanierung von Altlasten), die sogenannte Schadensfallbearbeitung beim Umweltamt, erhält im Folgenden besonderes Gewicht.

Im Hinblick auf die Grundwasserquantität spielt die Siedlungswasserwirtschaft eine zentrale Rolle. Hierbei kommt dem Teilbereich der Niederschlagswasserbeseitigung eine gewichtige Rolle zu. Kapitel 5.3. greift diese Aspekte auf.

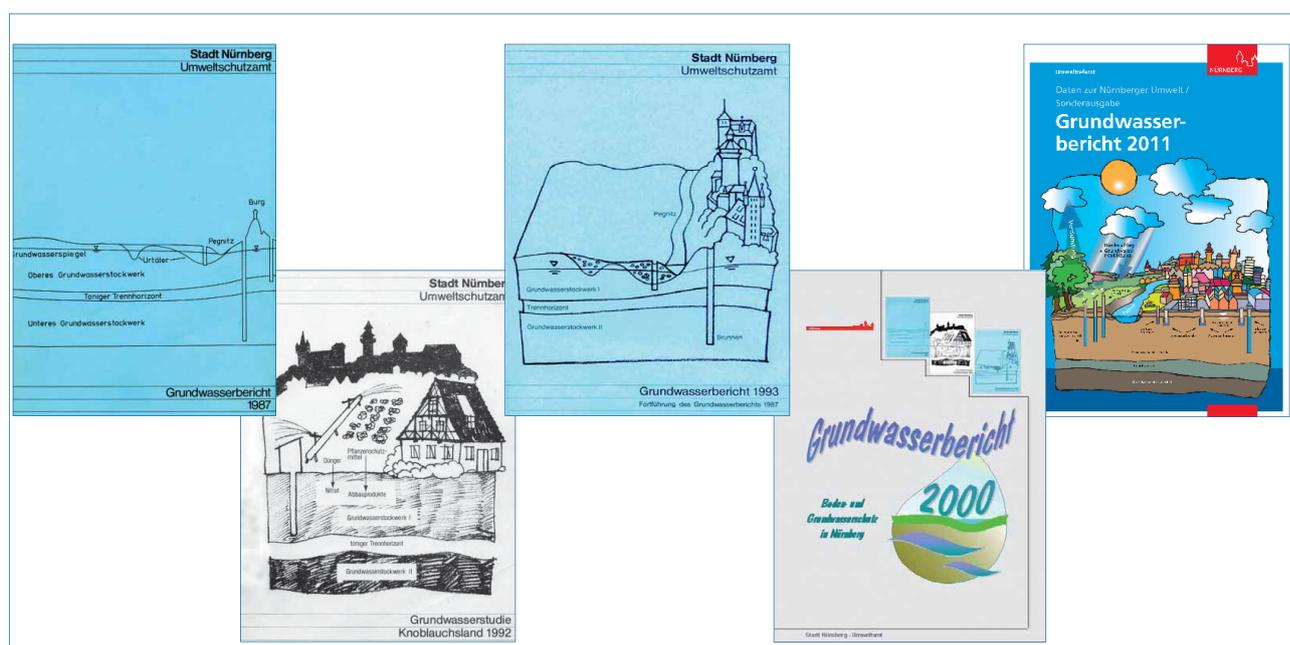


Abbildung 99: Regelmäßige Informationen zur Grundwassersituation - die Grundwasserberichte der Stadt Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

5.1. Maßnahmen für die Wasserqualität

5.1.1. Notwendige Maßnahmen der Landwirtschaft zur Reduzierung der Nitratauswaschung (Andreas Schmidt; Bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau)



Abbildung 100: Gemüseanbaubereich Knoblauchsland (Quelle: Stadt Nürnberg, Presseamt)

Ein vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gefördertes Projekt zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Erwerbsgemüsebau (MuD) begleitet in drei Gemüsebaubereichen in Deutschland die Düngung in ausgewählten Modellbetrieben. Eine Modellregion stellt das kleinstrukturierte Knoblauchsland dar. Das Projekt wird gefördert über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen 2816MD400 (Laufzeit vom 01.04.2016 bis zum 31.12.2017).

Seit dem 01. Juni 2017 ist die neue Düngeverordnung (DüV) in Kraft getreten. Mit einigen verschärften Vorgaben wird das Ziel verfolgt, dass Gemüsebaubetriebe Stickstoff noch gezielter im notwendigen Maß einer optimalen Nährstoffversorgung der Gemüsekulturen einsetzen. Gemüsebaubetriebe müssen sich nach den strengen Vorgaben richten, andernfalls haben sie mit Sanktionen zu rechnen. Ein wichtiges Ziel für das Knoblauchsland ist daher, Lösungen in der Düngepraxis zu finden, um die Ziele der DüV zu erreichen.

Die Zusammenarbeit im MuD – Projekt erfolgt mit dem Gemüseerzeugerring Knoblauchsland e.V. und vier engagierten Gemüsebaubetrieben (3 x konventionell und 1 x biologisch wirtschaftend), welche sich in der Intensität des satzweisen Anbaues, Vermarktung und Betriebsgröße unterscheiden. Alle vier Betriebe bauen insgesamt auf 65 ha über 40 verschiedene Gemüsekulturen in kleinen Sätzen von 0,02 – 0,5 ha an.

Für das 1. Projektjahr wurden drei Modelläcker je Betrieb mit folgenden Gemüsekulturen ausgewählt: Salate, Brokkoli, Blumenkohl, Kopfkohle, Fenchel, Staudensellerie, Zwiebeln, Rucola, Wurzelpetersilie.

Diese Betriebe fungieren als Modellbetriebe, d.h. die dort gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse sind anschauliches Beispiel für die anderen Gemüsebaubetriebe im Knoblauchsland. In Fachveranstaltungen werden die Informationen weitergegeben.

Erste Ergebnisse und Erfahrungen

Nach der neuen DüV ist beim Anbau von Gemüsekulturen, welche nach einer Gemüsevorkultur im selben Jahr angebaut werden, die Ermittlung der im Boden verfügbaren Stickstoffmenge (N_{min} -Gehalt) verpflichtend. Dies ist eine wesentliche Neuerung, da bisher alternativ auf Empfehlungen der Landesanstalten oder Erzeugerringe zurückgegriffen werden konnte.

Unsere Ergebnisse zeigen im Einklang mit oben genannter Regelung, dass der wichtigste Zeitpunkt der N-Düngung nach der Ernte der 1. Kultur bzw. vor einer Grunddüngung der 2. Kultur ist. Hier können durch Berücksichtigung der tatsächlichen N_{min} -Gehalte im Boden (Rest-N aus Düngung der Vorkultur) sowie der N-Nachlieferung aus Ernterückstän-

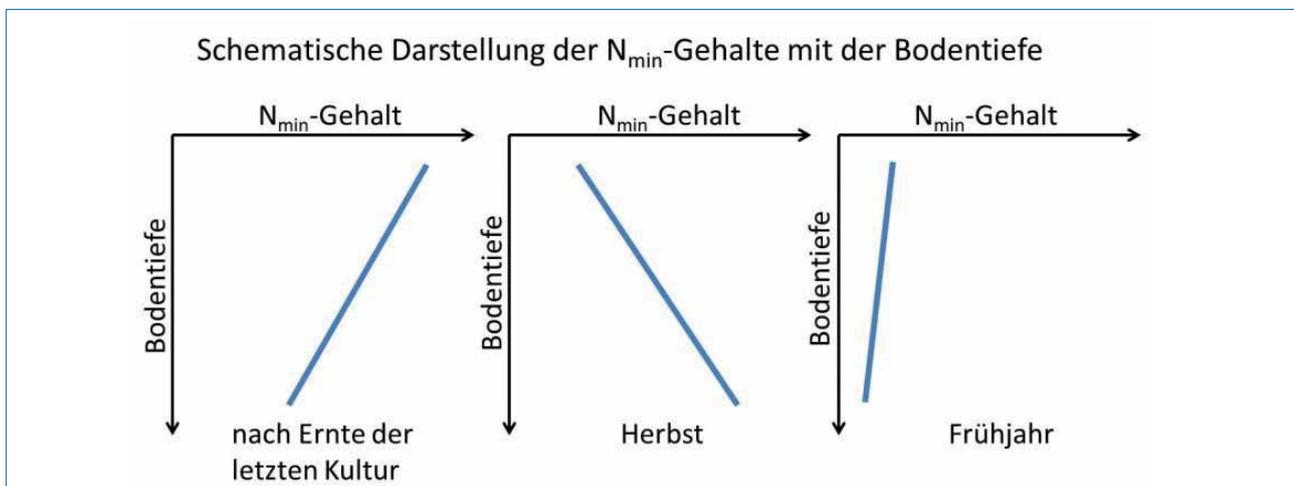


Abbildung 101: Schematische Darstellung der N_{min} -Gehalte mit der Bodentiefe im Jahresablauf (Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau)

den und der organischen Bodensubstanz N-Überschüsse und somit N-Verluste aus den sandigen und durchlässigen Böden in das Grundwasser vermieden werden. Insbesondere über die N-Mineralisation können auf den humusreichen und sich schnell erwärmenden Sandböden bedeutende N-Mengen freigesetzt werden.

Im Knoblauchsland sind dagegen N_{\min} -Probenahmen im Frühjahr aufgrund erfahrungsgemäß niedriger N_{\min} -Gehalte oder im Herbst wegen geringer Aussagekraft von untergeordneter Bedeutung (vgl. Abbildung 101).

Ein weiteres Instrument zur Optimierung der Stickstoffdüngung sind die Stickstoffbedarfsermittlungen, die jeder Gemüsebaubetrieb anzufertigen hat. Berücksichtigt wird dabei u.a. der Stickstoffgehalt im Boden, das Ertragsniveau, anzurechnende N-Mengen der Vorkultur und anderer organischer Düngegaben und weitere Aspekte.

Wenn diese neu geforderten Maßnahmen konsequent durchgeführt werden, wird mit geringeren Stickstoffdüngemengen gerechnet und damit langfristig mit weniger Nitrat im Grundwasser.

Optimierung der Bewässerung

Im Rahmen des Projektes wurden die Bewässerungsmengen über Rohrberegnung und die Veränderung der Bodenfeuchte (über Tensiometer) erfasst. Es zeigte sich eine ungleichmäßige Wasserverteilung auf der Fläche. Dadurch kommt es kleinflächig zur Tiefenverlagerung von Nitrat mit dem Sickerwasser und somit zu einer bewässerungsbedingten Heterogenität der N-Gehalte im Oberboden.

Jeder Betrieb ist gefordert, seine Bewässerungsanlagen so zu optimieren, dass eine gleichmäßige, bedarfsgerechte Bewässerung auf den Feldern erfolgt, um einer übermäßigen Stickstoffverlagerung entgegen zu arbeiten.

Zwischenbegrünung

Die immer wieder geforderte Vermeidung von Schwarzbrache mit Hilfe von Zwischenbegrünungen ist grundsätzlich eine sehr wichtige Maßnahme, um verbliebene Stickstoffmengen nach Aberntung der letzten Gemüsekultur im Jahr in Pflanzenmasse festzuhalten. Dies ist lange bekannt. Verstärkt hat das Bayerische Staatsministerium für Ernährung,

Landwirtschaft und Forsten im Jahr 2017 Wasserberater in sensiblen Gebieten eingesetzt, um die Landwirte für den Anbau von Zwischenbegrünungen zu sensibilisieren. Auch im Knoblauchsland werden mit Unterstützung eines Wasserberaters in einem Modellbetrieb Zwischenbegrünungen angelegt.

In Zusammenarbeit mit dem MuD werden in unterschiedlichen Anbauvarianten begleitend Bodenproben auf Stickstoff untersucht, um so vor Ort die betroffenen Gemüsebaubetriebe mit Fakten von einem fachgerechten Umgang mit der Stickstoffthematik zu überzeugen. Meist verbleiben späte Gemüsekulturen bis in den Spätherbst auf den Feldern. Die Ausbringung einer Zwischenbegrünung macht dann zeitlich gesehen oft keinen Sinn mehr.

Es soll nun ein Bewusstsein geschaffen werden, dass bei früher Aberntung (ca. bis Mitte September) eine Gründüngung wirkungsvoll einer Stickstoffauswaschung entgegenwirken kann.

Zusammenfassung:

Oft genug ist an anderer Stelle das Prinzip der guten fachlichen Praxis erklärt worden (vgl. Grundwasserbericht 2011 [1]). Deshalb sei es erlaubt, auf eine erneute Ausführung der einzelnen Punkte hier zu verzichten. Bei allem Bemühen um eine gute fachliche Praxis in der Düngung von Freilandgemüsekulturen darf nicht vergessen werden, dass in einem Intensivgemüsebaugbiet immer mit höheren Stickstoffeinträgen zu rechnen ist als in naturbelassenen Gebieten, in denen keine Bodenbearbeitung stattfindet.

Starkniederschlagsereignisse können dazu beitragen, dass vorhandener mineralisierter Stickstoff (vor allem auf durchlässigen Sandböden) innerhalb weniger Stunden in tiefere Bodenschichten verlagert wird. Falls kurz vor einem Starkregenereignis gedüngt wurde, kann der Stickstoff je nach Wassermenge ausgewaschen werden.

Insgesamt sind das alles Maßnahmen, die nur langfristig Erfolg hinsichtlich niedriger Nitratgehalte im Grundwasser bringen können. Auch bedarf es intensiver Beratungs- und Informationsarbeit, die nur in enger Zusammenarbeit von Behörden, Erzeugerringberatung und Projektpartnern gelingen kann.

5.1.2. Grundwasserschutz durch ökologischen Landbau

Studien belegen, dass durch ökologische Bewirtschaftung von Ackerflächen die Nitratauswaschung in das Grundwasser im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft minimiert werden kann. Dies wurde bereits im Grundwasserbericht 2011 [1] näher ausgeführt.

Zudem kann eine ökologische Bewirtschaftung den Oberflächenabfluss minimieren, wodurch die so bewirtschafteten Flächen eine verbesserte Schutzfunktion für Gewässer übernehmen:

In vergleichenden Untersuchungen der Infiltrationseigenschaften konventionell und ökologisch bewirtschafteter Ackerböden auf Ton wurde nachgewiesen, dass die Infiltrationsrate des Wassers in seit acht Jahren ökologisch bewirtschafteten Böden um 108 % erhöht war gegenüber vergleichbaren konventionell bewirtschafteten Böden. Die Abundanz von Regenwürmern, die u.a. für die Dichte der Bodenporen verantwortlich sind, war gleichzeitig um 42 % höher [[100]; [101]]. Es ergibt sich ein deutlich positiver Effekt für den Hochwasserschutz.



5. Grundwasserschutz

Durch systemimmanente Maßnahmen der ökologischen Bewirtschaftung wird das Bodengefüge verbessert, Bodenwasserabfluss, Sediment- und Stoffeinträge in Gewässer werden nachweislich verringert [[101]; [102]]. Negative Auswirkungen landwirtschaftlicher Nutzungen auf die Gewässerqualität (Eutrophierung) und Auswirkungen auf Gewässersohlen und deren Substratdiversität werden reduziert.

Nürnberg - die Biometropole

2003 beschloss der Nürnberger Stadtrat einstimmig den Anbau und Verbrauch von Lebensmitteln aus ökologischem Anbau zu fördern. Am 14.10.2014 wurde dieser Beschluss erneuert. So soll bis 2020 der Bio-Anteil bei Lebensmitteln in Kitas auf 75 %, an Schulen und auf Wochenmärkten auf 50 %, in städtischen Einrichtungen und bei Veranstaltungen auf 25 % erhöht werden. Gleichzeitig soll der Anteil an ökologisch bewirtschafteter Fläche auf 20 % gesteigert werden. Um das Ziel 20 % Ökolandbau zu erreichen, arbeitet das Referat für Umwelt und Gesundheit mit den Bio-Betrieben im Knoblauchsland, die sich im Jahr 2016 als „Die Bio-Macher“ zusammengeschlossen haben, zusammen. Ziel ist es die Vermarktung und Wertschöpfung für Bio-Gemüse aus dem Knoblauchsland zu steigern.



Abbildung 102: Ökolandbau - weniger Schadstoffe ins Grundwasser und ein Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Weitere Ansatzpunkte um Bio für die Landwirte interessant zu machen sind: Nachfrageförderung bei Großküchen, bei Caterern sowie bei Veranstaltungen und durch Stärkung des Verbraucherinnen- und Verbraucher-Bewusstseins.

Die stark zugenommene Nachfrage von Bio-Lebensmitteln durch die Verbraucherinnen und Verbraucher bietet, zusammen mit der verbesserten Umstellungsförderung im Rahmen des Programms „Bayern bioregio 2020“, für konventionelle, landwirtschaftliche Betriebe, die umstellungswillig sind, eine gute wirtschaftliche Perspektive.

Als staatlich anerkannte Öko-Modellregion, die die Stadt Nürnberg zusammen mit den Landkreisen Roth und Nürnberger Land ist, besteht explizit der Auftrag, den Ökolandbau zu fördern.

Situation in Nürnberg

Die Bedeutung des Ökolandbaus hat im Stadtgebiet Nürnberg in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Gemessen an der Zahl der Betriebe liegt der Bio-Anteil bei 14 %, bezogen auf die Fläche bei 6-7 %. Auch wenn der Ökolandbau insgesamt im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft einen geringen Anteil hat, ist dies eine bedeutende Entwicklung, die auch die gute Marktentwicklung abbildet.

Im Rahmen des Gutachtens zur Agrarstrukturellen Entwicklung im Knoblauchsland wurde auch der Ökolandbau thematisiert und das Umstellungsinteresse abgefragt. Es gaben 14 Betriebe an, an einer Umstellung auf Bio interessiert zu sein.

Jahr	Zahl Bio-Betriebe ****	Gesamtzahl landwirtschaftlicher Betriebe	Bio-Anteil Betriebe	Fläche Bio-Betriebe	Landwirtschaftliche Gesamtfläche	Bio-Anteil Fläche
2017	21	146	14%	183 ha ***	3.271 ha	6 %
2014	18	153	12 %	216 ha**	3.291 ha	7 %
2012	17	154	11 %	204 ha	3.345 ha	6 %
2010	13	154	8 %	157 ha *	4.139 ha	4 %
2008	4	158	2,5 %	nicht erfasst	nicht erfasst	nicht erfasst

* Bei 3 Betrieben liegen keine Flächenangaben vor; die Fläche wurde auf Basis des Durchschnitts (12,1 ha) der restlichen 10 errechnet.

** Fläche von 7 KULAP-Betrieben

*** Fläche von 6 KULAP-Betrieben; tatsächlich dürfte die Bio-Fläche größer sein

**** Die Zahl der Betriebe enthält z.B. Imker, die keine Flächen ausgewiesen haben

KULAP Bayerisches Kulturlandschaftsprogramm

Tabelle 12: Ökologische Landwirtschaft / zertifizierte Bio-Betriebe in Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Referat für Umwelt und Gesundheit)

5.1.3. LCKW-Grundwassersanierungen

In den 60er Jahren kamen, als Ersatz für wässrige Lösungen, verstärkt die LCKW (Leichtflüchtige Chlorierte Kohlenwasserstoffe) als Lösungs- und Entfettungsmittel in metallverarbeitenden Betrieben zum Einsatz. Das hohe Grundwassergefährdungspotenzial wird bei manchen Chemikalien erst spät festgestellt, bei den LCKW dauerte es bis in die 80er-Jahre.

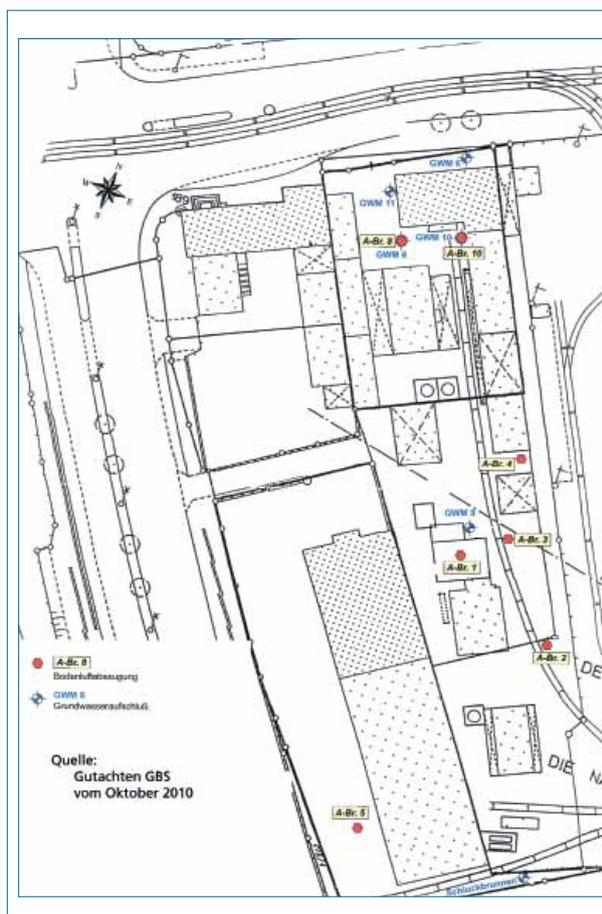
Aufgrund der Erkenntnisse aus anderen Städten sowie den ersten Ergebnissen von Kontrollen des Umweltamts zum Umgang mit LCKW in Gewerbebetrieben beschloss das Umweltamt Nürnberg im Jahr 1987, eine erstmalige, flächenhafte Untersuchung des Grundwassers durchzuführen. Ziel dieser Maßnahme war es, die Qualität des Nürnberger Grundwassers im gesamten Stadtgebiet zu erkunden. Dabei war die wichtigste grundwassergefährdende Stoffgruppe LCKW (Grundwasserbericht 1987 [103]).

Aufwändige Suche der LCKW-Schadensherde in der ungesättigten Bodenzone

Da eine LCKW-Grundwasser-Sanierung nur sinnvoll und zielführend im Bereich einer relevanten Schadstoffquelle und / oder im Bereich einer dazugehörigen Schadstofffahne ist, ist die genaue Lokalisierung der LCKW-Schadensherde im Boden von enormer Bedeutung.

Auch wenn ein Grundstück bekannt ist, auf dem mit LCKW`s umgegangen wurde, ist es dennoch häufig sehr schwierig bzw. aufwändig, herauszufinden, wo tatsächlich größere Mengen an LCKW in den Untergrund, d.h. zunächst in den Boden und ggf. bis in das Grundwasser gelangten.

Die potentiellen Verdachtsbereiche, die z.B. aus einer Historischen Recherche von industriell / gewerblichen Altstandorten ermittelt wurden, wurden zunächst mittels Rammkernsondierungen (RKS), Bodenluftanalysen sowie Bodenluftabsaugversuchen in der ungesättigten Bodenzone überprüft.



Ermittlung und Überprüfung der potentiellen LCKW-Schadensherde durch schrittweise Untersuchung der Bodenluft

1988	17 RKS	⇒ 5 Schadensherde ermittelt
1993	10 RKS	⇒ 1 weiterer Schadensherd ermittelt
1995	17 RKS	⇒ keine weitere LCKW-Schadstoffquelle entdeckt
1997	13 RKS	⇒ kein neuer Schadensherd ermittelt
2001	Errichtung eines neuen Absaugbrunnens (A-Br_10) und einer Grundwassermessstelle (GWM_10)	

LCKW-Schadensherde und die erzielten Schadstoffausträge mittels Bodenluft-Sanierung

A-Br.1	ca.	465 kg LCKW	von 03/1988 bis 01/1997
A-Br.2	ca.	213 kg LCKW	von 07/1988 bis 04/2001
A-Br.3	ca.	1.085 kg LCKW	von 03/1988 bis 06/2002
A-Br.4	ca.	142 kg LCKW	von 06/1988 bis 06/2002
A-Br.5	ca.	17 kg LCKW	von 02/1989 bis 02/1993
A-Br.8	ca.	10 kg LCKW	von 05/1994 bis 06/2002
A-Br.10	ca.	2 kg LCKW	von 06/2001 bis 06/2002

Ein Grundstücks-Kaufinteressent hat 2013 auf dem Areal nochmals 33 Rammkernsondierungen von einem Altlasten-Sachverständigen durchführen lassen, hierbei wurden kein LCKW-Schadensherd bzw. keine sanierungsrelevanten LCKW-Bodenluftkonzentrationen festgestellt.

Abbildung 103: Ermittlung und Überprüfung der pot. LCKW-Schadensherde auf einem Grundstück

(Quelle: Abbildung aus unveröffentlichtem Gutachten: Geowissenschaftliches Büro Diplomeologe Stefan Seitz (GBS); Oktober 2010 [137]; Tabelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

5. Grundwasserschutz

Keine flächenhafte Schadstoffausbreitung im Grundwasser

Auch wenn in den Medien von „flächenhaft LCKW-verunreinigtem Grundwasser“ berichtet wurde bzw. wird und in den Grundwasserberichten durch die Darstellungsform in Karten dieser Eindruck entstehen könnte, entspricht dies nicht den tatsächlichen Gegebenheiten. Die zahlreichen Erfahrungen des Umweltamtes in der Altlasten-Sachbearbeitung als auch Berichte aus anderen Städten sowie in Fachzeitschriften bestätigen, dass sich die Schadstoffgruppe der LCKW nicht flächenhaft, auch nicht in Teilbereichen flächenhaft, sondern in der Regel in Form sehr schmaler Schadstofffahnen (z.T. nur 10 m breit) ausbreiten.

Dieser Umstand macht die Erkundung und Sanierungsplanung von LCKW-Schäden verhältnismäßig aufwändig. Genaue Kenntnisse der örtlichen Grundwassersituation sind erforderlich und durch Untersuchungsmaßnahmen zu erkunden.

Die oft komplexe Schadstoffsituation von LCKW-Verunreinigungen im Grundwasser kann exemplarisch an zwei konkreten Schadensfälle dargestellt werden (vgl. Abbildungen 103 und 104).

Es liegen oft mehrere (ehemalige) Schadensschwerpunkte und Eintragsstellen vor, bei denen die Auswirkungen und die Zusammensetzung der Einzelparameter unterschiedlich sein können.

Entwicklung und Anzahl der aktiven Grundwasser-Sanierungsfälle

Die Parametergruppe der LCKW ist in Nürnberg nach wie vor der Hauptschadstoff bei den nutzungsspezifischen erheblichen Grundwasserverunreinigungen in Nürnberg (vgl. Kapitel 3.1.1.). Die Entfernung von LCKW aus dem Grundwasser im Bereich / Umfeld einer Schadstoffquelle wird als aktive Grundwassersanierung bezeichnet. Bei größeren Industriestandorten erfolgt die LCKW-Entfrachtung aus dem Grundwasser oftmals an mehreren Stellen.

Bei 66 von insgesamt 105 Grundwassersanierungsfällen im Stadtgebiet Nürnberg sind LCKW als sanierungsrelevante Schadstoffgruppe beteiligt. Bis März 2017 wurden insgesamt 56 Grundwassersanierungen abgeschlossen, darunter 33 LCKW-Sanierungsfälle.

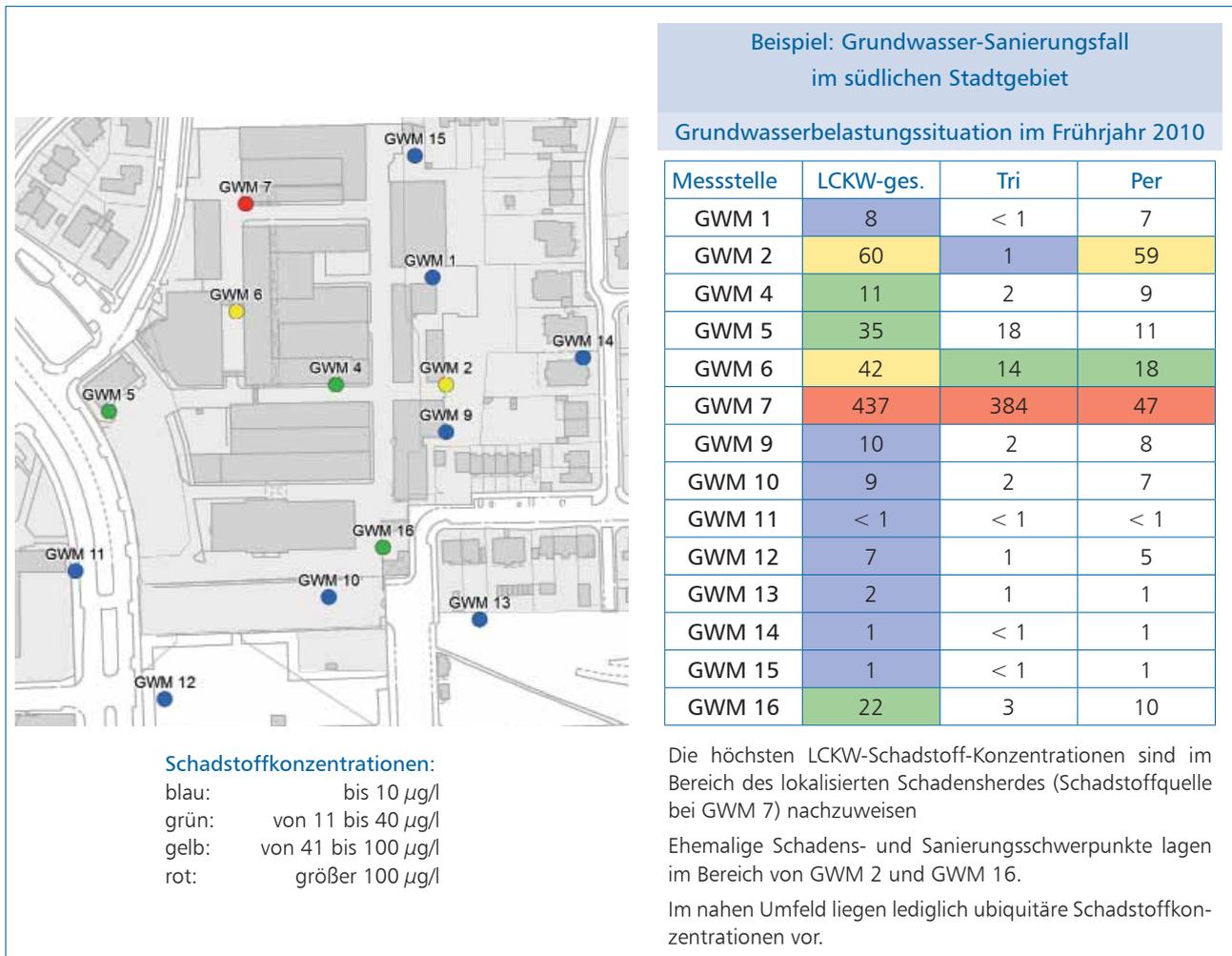


Abbildung 104: LCKW - Grundwasser-Sanierungsfall im südlichen Stadtgebiet (Quelle: Stadt Nürnberg Umweltamt)

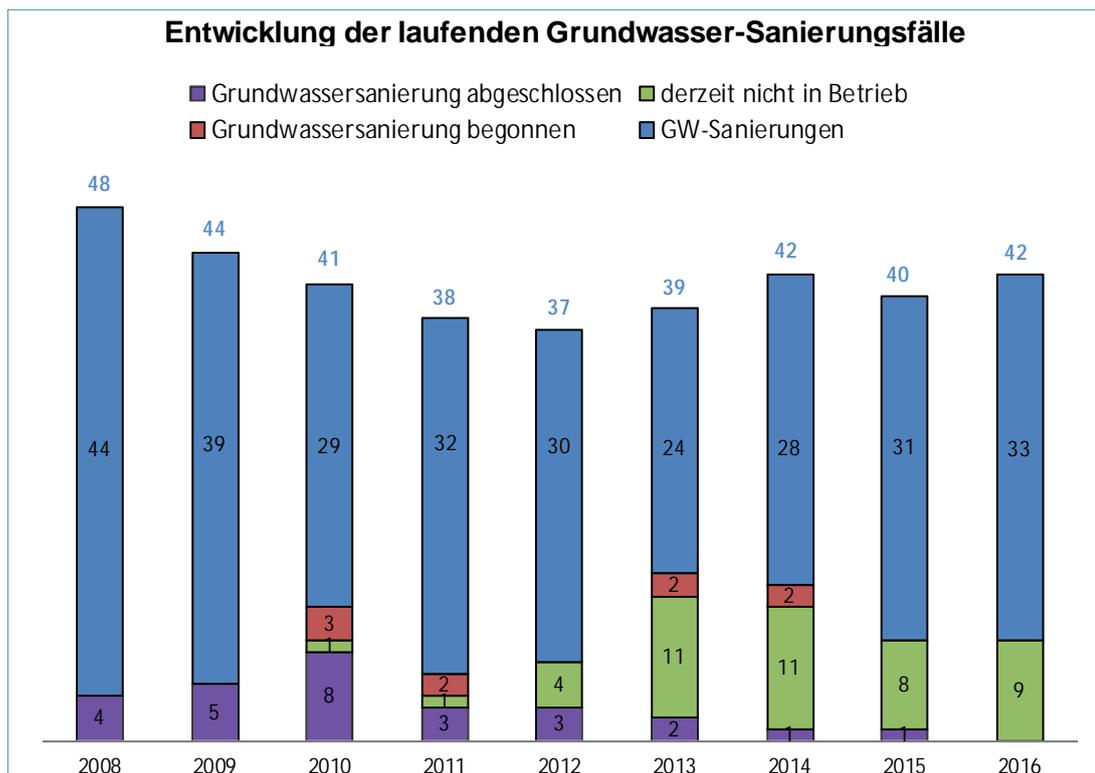


Abbildung 105: Entwicklung aller 105 in Nürnberg durchgeführten Grundwasser-Sanierungen von 2008 bis 2016 (darunter Grundwassersanierungen, die bereits vor 2008 begonnen wurden; darunter abgeschlossene Fälle, die aufgrund eines Monitorings wieder aufgenommen werden mussten und daher keine „neuen Fälle“ darstellen) (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Erfahrungen aus den abgeschlossenen LCKW-Grundwassersanierungsfällen

Bereits im Grundwasserbericht 2000 wurde über 15 LCKW-Sanierungen mit Gesamtausträgen > 1.000 kg (aus dem Grundwasser und der Bodenluft, je Sanierungsgrundstück) berichtet.

Die Entfernung einiger Kilogramm LCKW aus dem Grundwasser dauert oftmals viele Jahre und kann im Einzelfall sehr teuer werden. In Tabelle 13 wird mittels 4 Austrags-Kategorien ein Überblick sowie Vergleich der erzielten LCKW-Gesamtausträge aus dem Grundwasser bei den bereits 33 sanierten Grundstücken gegeben. Im Rückblick wird deutlich, dass die Betrachtung der aus dem Grundwasser erzielten Schadstoffausträge wichtig ist. Jedoch entwickelt jeder Sanierungsfall seine eigene Spezifik und ist viel differenzierter zu betrachten. Erfahrungsgemäß sind insbesondere folgende Kriterien / Indikatoren zur Einschätzung eines Sanierungserfolges näher zu beleuchten:

- Entwicklung der Schadstoffausträge am jeweiligen Sanierungs-Pegel und am Standort
- Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen im Schadensherd und in Abstrompegeln (max. 50 m entfernt)
- Entwicklung der Belastungssituation im Umfeld des Firmenareals bzw. Altlastenstandorts
- Dauer der Grundwassersanierung
- jährliche Kosten für die Entfernung von 1 kg LCKW aus dem Grundwasser

Sanierungsziele

Die Sanierungsrelevanz, d.h. die Notwendigkeit der Entfernung von Schadstoffen aus dem Grundwasser, wird im Rahmen der Orientierenden- sowie Detailuntersuchungen primär über die ermittelten Schadstoffkonzentrationen festgestellt. Gemäß LfU-Merkblatt 3.8/1 vom Oktober 2001 [139] spricht man bei Stoffkonzentrationen im Schadenszentrum bzw. im unmittelbaren Abstrom über dem Stufe-2-Wert (bei LCKW > 40 µg/l) von einer erheblichen Grundwasserunreinigung und es ist in der Regel eine Grundwassersanierung erforderlich.

Das zunächst angestrebte Sanierungsziel, die dauerhafte Unterschreitung des Stufe-2-Wertes wurde bzw. wird in zahlreichen LCKW-Grundwasser-Sanierungsfällen aus unterschiedlichen Gründen nicht erreicht.

Ein ebenso wichtige Kenngröße sind die jährlich erzielbaren LCKW-Austräge, d.h. bei geringen Frachten (im Stadtgebiet Nürnberg bei < 1 kg / Jahr) kann, trotz höherer Schadstoffkonzentrationen, die Grundwassersanierung beendet werden.

Kategorie	Anzahl
< 10 kg	15
> 10 kg bis < 100 kg	13
> 100 kg bis < 500 kg	3
> 500 kg	2

Tabelle 13: LCKW-Gesamtausträge aus dem Grundwasser bei 33 abgeschlossenen Sanierungsfällen

Verhältnismäßigkeitsprüfung

Nach der BBodSchV können nur solche Sanierungsmaßnahmen durchgesetzt werden, die geeignet, notwendig und angemessen sind. Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeitsprüfung ist bei allen mit Altlastensanierungen verbundenen behördlichen Forderungen und Entscheidungen zu beachten.

Es gibt LCKW-Grundwassersanierungsfälle, bei welchen die Förderung und Behandlung des verunreinigten Grundwassers (Pump-and-Treat-Maßnahme) bereits mehr als 15 Jahre dauert. Bei diesen Fällen nimmt oftmals die Effizienz während der Betriebszeit deutlich ab, der Schadstoffaustag wird mit der Zeit geringer, ist aber immer noch deutlich > 1 kg/Jahr, gleichzeitig steigen die spezifischen Energieeinsätze und Kosten.

Bei langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahmen (mehr als 10 Jahre laufend) ist eine regelmäßige Überprüfung der Verhältnismäßigkeit erforderlich. Zu dem, in der Altlastensanierung zentralen, Thema „Verhältnismäßigkeitsprüfung“ existieren sehr unterschiedliche Ansichten. Bei Besprechungen darüber, was verhältnismäßig ist und was nicht, klaffen die Meinungen der Beteiligten oft weit auseinander. Naturgemäß ist der Unterschied besonders groß zwischen den Kostenträgern und den zuständigen Stellen für den Gewässerschutz.

Seit ein paar Jahren gibt es zwar in einigen Bundesländern umfangreiche Handlungshilfen (jedoch bislang noch nicht in Bayern; Stand Juni 2018) - erwähnt sei hier das Merkblatt aus Baden-Württemberg vom September 2015 „standardisiertes Vorgehen zur fachtechnischen Grundlagenermittlung zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung“. Aber auch dort heißt es: „Die Verhältnismäßigkeitsprüfung selbst ist immer eine Einzelfallentscheidung, die ausschließlich von der zuständigen Behörde durchgeführt wird. Sie ist nicht Gegenstand der Handlungshilfe“ [104].

Zudem können diese Arbeitshilfen keine einfachen Lösungen / Kenngrößen liefern, wie z.B., dass, sobald die Entfernung von 1 kg Schadstoff mehr als 5.000 EURO kostet, grundsätzlich aus Gründen der Verhältnismäßigkeit die Grundwasser-Sanierung eingestellt werden kann.

Altlasten-Sachverständige, die überwiegend in anderen Bundesländern aktiv sind, kommen nicht selten zum Umweltamt der Stadt Nürnberg mit Vorschlägen wie z.B. „sofern die Kosten auf >1.000 EURO/kg LCKW-Entfrachtung steigen, ist die Grundwassersanierung einzustellen“.

Unstrittig sind die wesentlichen Elemente einer Verhältnismäßigkeitsprüfung:

- Prüfung des technischen / konzeptionellen Optimierungspotenzials sonst Ermittlung von Alternativen,
- Darstellung der Sanierungseffizienz,
- Zukünftige Gefährdungsentwicklung für den Fall der Außerbetriebnahme der Grundwassersanierung.

Wenn die Prüfung seitens der Fachbehörden ergibt, dass alle in Betracht gezogenen weiteren Maßnahmen unverhältnismäßig sind, bedarf das Sanierungsziel im Rahmen eines iterativen Prozesses einer Modifizierung.

Finanzierung

Ein nicht unwesentlicher Aspekt ist die Frage, wer nach Feststellung der Sanierungsrelevanz die gezielte Entfernung der Schadstoffe aus dem Grundwasser finanziert. Selten kommt aufgrund der wechselvollen Nutzungshistorie von Grundstücken nur ein einzelner Verursacher, d.h. Handlungsstörer, in Frage bzw. kann eine Firma / Person noch als Verantwortlicher in Anspruch genommen werden. Häufig muss der bzw. die Grundstückseigentümer und damit Zustandsstörer die Kosten für die Grundwassersanierung tragen.

Bei den meisten größeren Grundwasser-Sanierungsfällen auf ehemaligen oder bestehenden großen Firmenarealen ist die Finanzierung in der Regel gesichert; z.B. wurde 2004 bei einem ehem. Betriebsareal in Schweinau ein Sanierungsvertrag mit einer Bürgschaft von 1.500.000 EURO für die nächsten 20 Jahre abgeschlossen.

Aus der Grafik „Entwicklung der laufenden Grundwasser-Sanierungsfälle“ (Abbildung 105) ist aber auch ersichtlich, dass in den letzten Jahren die Fälle mit der Kategorie „nicht in Betrieb“ zunahmen. Dies liegt insbesondere an der fehlenden Bereitschaft einiger Zustandsstörer die Kosten für die Grundwassersanierung grundsätzlich bzw. weiter zu übernehmen. Hier laufen teilweise rechtliche Klärungsprozesse. Letztendlich gibt es auch Grundstückseigentümer bei denen die finanzielle Leistungsfähigkeit die ausschlaggebende Rolle spielt.

5.1.4. PFC-Schadensfall am Flughafen Nürnberg - Vorstellung des Sicherungs- und Sanierungskonzeptes

Auf dem Gelände des Nürnberger Flughafens ist es durch den jahrzehntelangen Einsatz von zugelassenen, PFC-haltigen Löschschäumen an fünf bekannten Standorten (Löschbecken Ost, Biotop Ziegellach, Feuerwehrstellfläche, Löschbecken West, Nordportal, vgl. Abbildung 106) zu erheblichen Verunreinigungen von Boden, Grundwasser und Oberflächengewässern gekommen. Im Abstrom der Schadensherde liegen die Schutzgüter Bucher Landgraben (Vorfluter), Beregnungsbrunnen des landwirtschaftlich geprägten Knoblauchslandes sowie Fischteiche der Stadt Fürth.

Die erste, durch das Umweltamt und das staatliche Wasserwirtschaftsamt veranlasste, Überprüfung der PFC-Belastungssituation fand im Oktober 2010 während eines Grundwassermonitorings im Zusammenhang mit einer LHKW / BTEX-Sanierung am ehemaligen Löschbecken Ost statt. Hierbei wurden deutlich erhöhte PFC-Grundwasserkonzentrationen von mehreren Hundert $\mu\text{g/l}$ gemessen. In den Folgejahren erfolgte die Intensivierung der PFC-Untersuchungen mit abschließender Erkundung und Eingrenzung aller potentiellen Eintragsstellen und bekannten Belastungsbereichen.

Seit der Errichtung einer gasbetriebenen Brandsimulationsanlage im Jahr 2003 kommt am Flughafen Nürnberg bei Feuerlöschübungen kein PFC-haltiger Löschschaum mehr zum Einsatz.

Schadensherde

Löschbecken Ost (LBO)

Das ehemalige Löschbecken Ost stellt das Hauptschadenszentrum dar. Hier wurde bei Löschübungen über mehrere Jahrzehnte (1969-2002) die größte Menge an PFC über Löschschäume ausgebracht. Sowohl von der Flächengröße (ca. 3 ha) als auch der Höhe der vorgefundenen Belastungen (der Spitzenwert für PFC lag im September 2012 bei $1.310 \mu\text{g/l}$) nimmt das Löschbecken Ost eine Sonderstellung ein. Mit einem Schadstoffpotenzial von rund 36 kg PFC in der ungesättigten Zone und einer nachgewiesenen Emission von ca. 1,7 kg/a PFC über den Grundwasserpfad, stellt das Löschbecken Ost den größten Emittenten dar und ist für die Hauptfracht an PFC im Vorfluter Bucher Landgraben verantwortlich.

Im Grundwasserabstrom des Löschbeckens Ost hat sich eine rd. 50 ha große Schadstofffahne ausgebildet (vgl. Abbildung 107). Das Schadstoffpotenzial der gesamten PFC-Fahne wurde anhand der Porosität des Gebirges und der mittleren PFC-Konzentration in einer Größenordnung von 19-158 kg abgeschätzt.

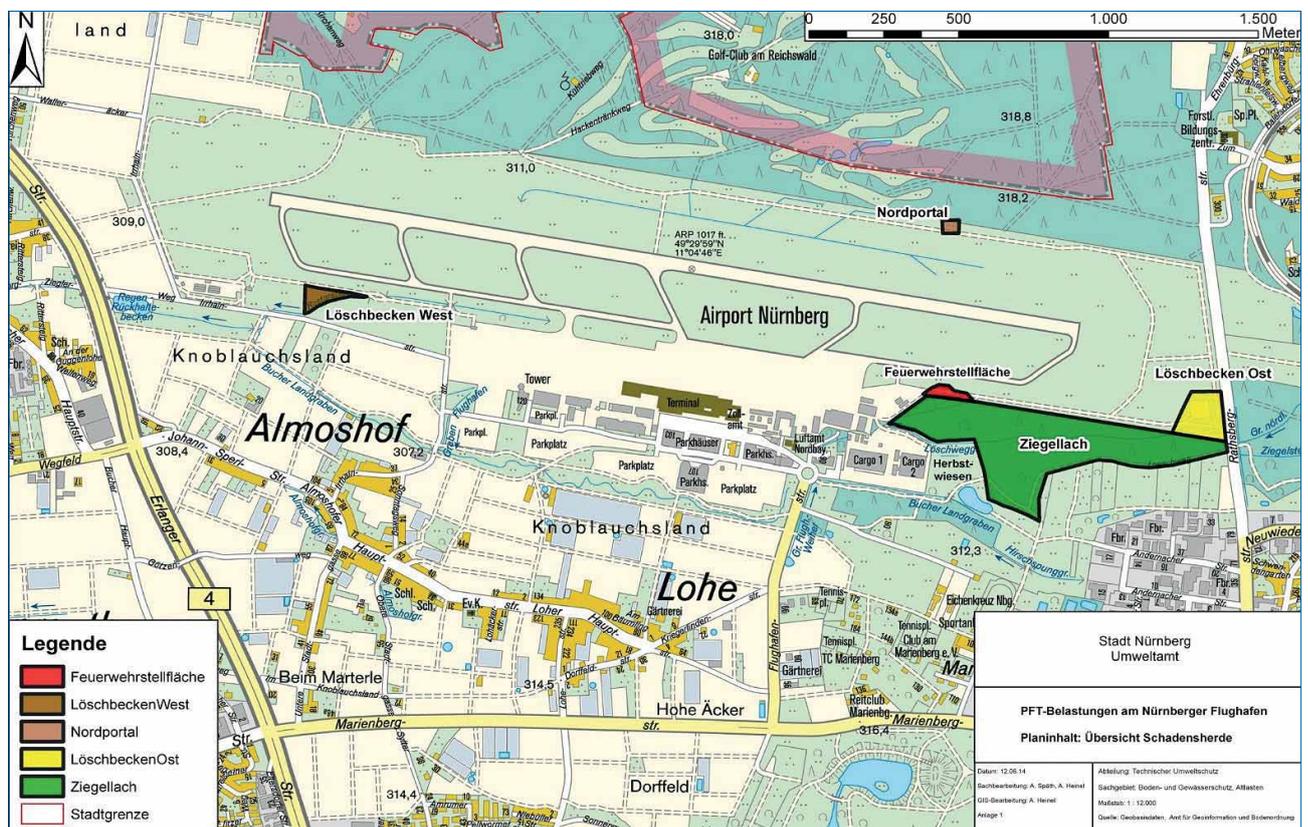


Abbildung 106: PFC-Schadensherde am Flughafen Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

5. Grundwasserschutz

Die Schadstofffahne unterströmt das Feuchtgebiet Ziegellach und entwässert komplett in den Bucher Landgraben als Vorfluter. Eine weitere Ausbreitung südlich des Bucher Landgrabens konnte auf Grundlage der bisherigen Untersuchungsergebnisse nicht nachgewiesen werden.

Am Löschbecken Ost wurde in den Jahren 2013 und 2014 eine, über das Bayerische Landesamt für Umwelt betriebene und vom Freistaat Bayern geförderte, Pilotanlage zur Grundwassersanierung getestet. In Zusammenarbeit mit dem Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe fanden Tests zur Adsorptionsleistung verschiedener Aktivkohlen und Ionentauscher im Labor und in der Pilotanlage statt.

Im Sommer 2015 ist eine weitere Pilotanlage zur Grundwassersanierung durch den Flughafen Nürnberg in Betrieb genommen worden. Mit einem Volumenstrom von aktuell 2 m³/h wird Grundwasser aus dem am stärksten belasteten Grundwasserstockwerk gefördert und über das Perfluorad-Verfahren der Firma Cornelsen Umwelttechnologie GmbH abgereinigt. Die derzeit am Löschbecken Ost betriebene Sanierung läuft insgesamt sehr effektiv und erfolgreich. Mit den derzeitigen Förderraten kann der Hauptschaden größtenteils erfasst und ein weiterer Abstrom von PFC aus dem unmittelbaren Bereich des Löschbeckens Ost verhindert werden. Insgesamt konnten bereits mehr als 4 kg PFC (Stand 2018) aus dem Grundwasser entfernt werden. Im ausgereinigten Grundwasser liegen die PFC-Gehalte in der Regel <0,03 µg/l (PFOS <0,01 µg/l).

Biotop Ziegellach

Unmittelbar am Löschbecken Ost entspringt der, in das angrenzende Feuchtbiotop Ziegellach entwässernde, Löschweggraben. Dieser wird durch die Zuflüsse der benachbarten Straßengräben und durch verschiedene Drainageleitungen des Flughafengeländes gespeist. Durch den Oberflächenwasserabfluss vom Löschbecken Ost erfolgte eine Sekundärkontamination des Biotopstandortes auf einer Fläche von ca. 13 ha (vgl. Abbildung 107) mit ähnlich hohem Schadstoffpotenzial (ca. 29 kg) wie am Löschbecken Ost.

Nach längeren Regenperioden kommt es zu einer Aufstauung des Löschweggrabens mit Rückstau in seine Nebenäste. Dies führt periodisch zu einer Überflutung der Ziegellach mit PFC belastetem Oberflächenwasser (vgl. Abbildung 108) aus dem Bereich des Löschbeckens Ost. Auf diese Weise kam es zu einer flächigen Anreicherung von PFC im Bodenmaterial über versickerndes Oberflächenwasser.

Die oberflächennahen Belastungen in der Waldfläche Ziegellach zeigen jedoch aufgrund der lokalen Boden- und Entwässerungsverhältnisse (hoher Humusgehalt im Oberboden, abdichtende Tonschicht im Unterboden) sowie einer gänzlich anderen Bindung und räumlichen Verteilung ein wesentlich geringeres Emissionspotenzial (d.h. eine geringe Neigung zur Schadstoffverlagerung).

Unter Berücksichtigung der ökologischen und naturschutzfachlichen Aspekte ist ein Bodenaushub und somit eine Zerstörung des wertvollen Feuchtbiotopes als nicht verhältnismäßig einzustufen.



Abbildung 107: PFC-Schadstofffahne im Grundwasser (Quelle: Gibs geologen+ingenieure GmbH)

Deshalb wurde im Bereich der Ziegellach / Herbstwiesen durch einen weiteren Pilotversuch die Eignung einer Grundwasserreinigung für diesen Bereich getestet. Die Abstrombelastungen (ca. 20-30 $\mu\text{g/l}$) liegen hier deutlich niedriger als im Hauptschadenszentrum Löschbecken Ost. Während der Pilotphase wurde oberflächennahes Grundwasser gefördert, um die Reinigungsleistung und Regenerierbarkeit von verschiedenen Aktivkohlen, Ionentauschern und Harzen zu testen.

Löschbecken West

Das Löschbecken West wurde in den 1980er Jahren errichtet und überwiegend für Handlöschübungen genutzt. Die mit PFC kontaminierte Fläche beträgt ca. 1 ha.

Aufgrund einer zwischen 2,2 und 3,3 m u. GOK anstehenden Tonspererschicht (Grenzletten) kam es am Löschbecken West zu keiner nennenswerten Tiefenverlagerung von PFC-Schadstoffen. Im Grundwasser sind die Belastungen ausschließlich auf den oberen Grundwasserleiter beschränkt. Unterhalb der Grenzletten wurden keine relevanten PFC-Konzentrationen festgestellt.

Während eines Pilotversuches zum Bodenaustausch (vgl. Abbildung 109) wurde im Frühjahr 2014 der Hauptbelastungsbereich auf einer Fläche von 625 m² bis zu einer Tiefe von knapp 1 m ausgehoben und im Untertageversatz verwertet. Mit der Entfernung von rund 1.000 t an belastetem Bodenmaterial konnte die vorhandene PFC-Schadstoffmenge um knapp 2 kg reduziert werden. Das aktuell noch verbliebene Schadstoffpotenzial in der ungesättigten Zone beträgt ca. 4,3 kg PFC.

Feuerwehrstellfläche

Die Feuerwehrstellfläche, die am nordwestlichen Übergangsbereich zur Ziegellach liegt, dient als Abstellplatz für die Feuerwehrfahrzeuge. In der Vergangenheit wurden dort nach den Einsätzen Schläuche gereinigt und im kleineren Umfang auch Löschübungen durchgeführt.

Die festgestellten PFC-Kontaminationen liegen überwiegend oberflächennah bis zu einer Tiefe von max. 2,5 m u. GOK vor. Der Standort weist bei einer verunreinigten Fläche von 2,3 ha ein Schadstoffpotenzial in der ungesättigten Zone von knapp 6 kg PFC auf.

Nordportal

Für den Flughafen Nürnberg wurde eine direkte Verkehrsanbindung an die nördlich verlaufende Bundesautobahn A3 geplant (Nordanbindung). Im Rahmen dieser Straßenplanung ist auch eine Untertunnelung der Start- / und Landebahn vorgesehen. Ob die Nordanbindung einmal tatsächlich umgesetzt werden wird, kann aktuell nicht abgeschätzt werden [157]. Jedoch wurden im Rahmen der technischen Untersuchungen zur Bauwasserhaltung für das Tunnelbauwerk im Bereich des geplanten nördlichen Tunnelausgangs, dem Nordportal, ebenfalls kleinräumige PFC-Verunreinigung festgestellt. Deren Ursache ist nicht bekannt.

Das Nordportal bildet mit nur 900 m² die kleinste der fünf Kontaminationsflächen. Das PFC-Schadstoffpotenzial im Boden ist insgesamt relativ gering (ca. 0,4 kg) und befindet sich vollständig in der ungesättigten Zone, überwiegend in den obersten 70 cm.

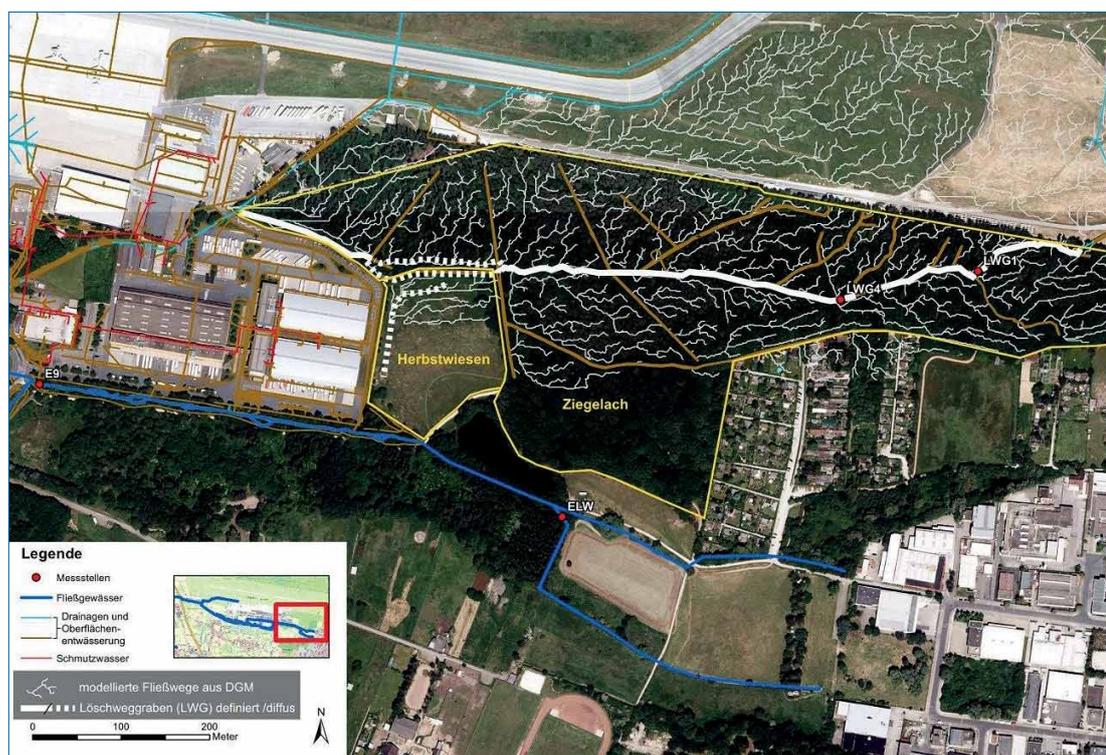


Abbildung 108: Feuchtbiotop Ziegellach – Grabensystem (Quelle: Gibs geologen+ingenieure GmbH)



Abbildung 109: Löschbecken West – Pilotversuch Bodenaustausch (Quelle: albuCon GmbH)

Sicherungs- und Sanierungskonzept

Für die Sicherung und Sanierung des PFC-Schadens am Flughafen Nürnberg wurde durch das Gutachterbüro Gibs geologen + Ingenieure GmbH & Co. KG ein mit dem Flughafen Nürnberg und den Fachbehörden abgestimmtes Sicherungs- und Sanierungskonzept erarbeitet.

Zur Reduzierung des PFC-Schadstoffpotenzials ist eine Kombination aus hydraulischen Sanierungsmaßnahmen (Quellensanierung am Löschbecken Ost und Abstomsicherung Ziegellach), Bodenaushubmaßnahmen (Löschbecken West, Nordportal, Feuerwehrstellfläche) und Sicherungsmaßnahmen (Oberflächenabdichtung am Löschbecken Ost, Optimierung der Entwässerungssituation) vorgesehen (Abbildung 110). Die umfangreichsten Sanierungsarbeiten werden am Löschbecken Ost notwendig. Folgende Maßnahmen sind dort im Einzelnen vorgesehen:

Um weitere Schadstoffeinträge von der ungesättigten in die gesättigte Zone zu unterbinden, ist eine Oberflächenabdichtung als Sicherungsmaßnahme vorgesehen. Weiterhin ist ein Teilaushub im Schadenszentrum aus der gesättigten Zone (ca. 4.000 m³) geplant.

Für eine künftige geordnete Entwässerung werden Profilierungsmassen benötigt. Hierfür bieten sich die kontaminierten Bodenmassen der drei anderen Schadensherde Löschbecken West, Feuerwehrstellfläche und Nordportal an.

Durch Aushub, Umlagerung und Wiedereinbau oberhalb des Grundwasserschwankungsbereichs und unterhalb der Abdichtung kann mit dieser Sicherungsmaßnahme am Löschbecken Ost das vorhandene Gefährdungspotenzial maßgeblich reduziert werden.

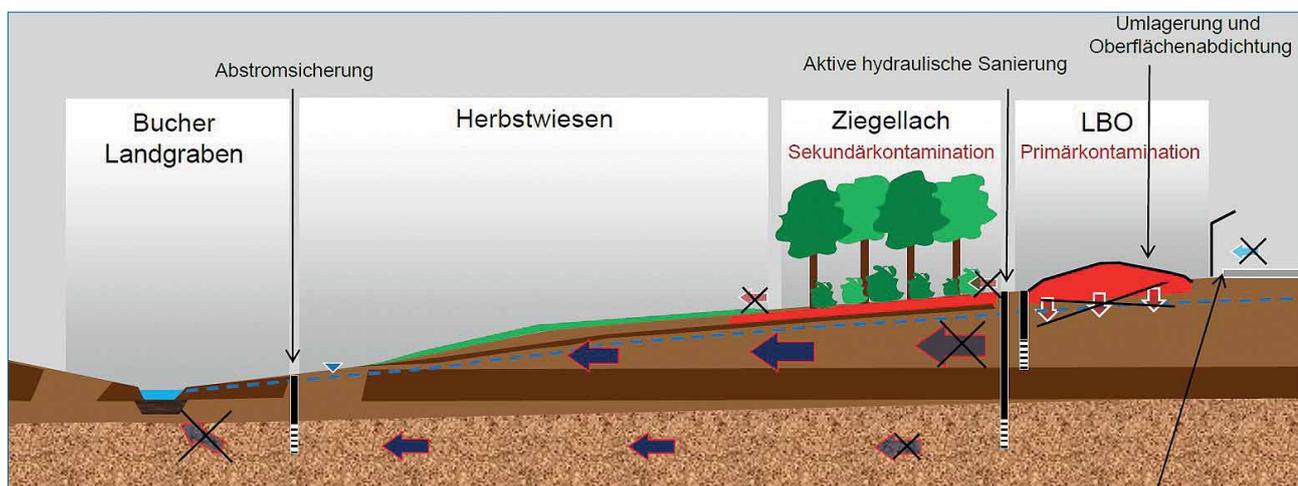


Abbildung 110: Sicherungs- und Sanierungskonzept (Quelle: Gibs geologen+ingenieure GmbH)

Zusätzlich ist im Schadenszentrum eine aktive hydraulische Sanierung des oberen Grundwasserstockwerks erforderlich. Die Grundwassersanierung wurde bereits über die derzeit betriebene Pilotanlage erfolgreich begonnen und wird kontinuierlich bis zum Regelbetrieb optimiert.

Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit zur Unterbindung des Abströmens belasteter Oberflächenabflüsse aus dem Bereich Löschbecken Ost in die Ziegellach. Dies kann nur durch eine geordnete Entwässerung erreicht werden (passive hydraulische Maßnahmen). Spitzenabflüsse aus dem Bereich Löschbecken Ost und der östlich daran vorbeiführenden Rathsbergstraße sollen künftig nicht mehr in die Ziegellach geleitet werden. Um jedoch nachteilige Auswirkungen auf den Naturhaushalt des Feuchtbiotops zu vermeiden, ist ein Öko-Monitoring mit einer gezielten Ableitung von Teilströmen aus unbelastetem Wasser in Richtung Ziegellach vorgesehen.

Zur Verminderung einer weiteren Beaufschlagung des Bucher Landgrabens mit PFC soll außerdem im Bereich Herbstwiesen eine aktive hydraulische Abstomsicherung zwischen der Biotopfläche und dem Vorfluter (Brunnengalerie + Rigole) umgesetzt werden.

Der Erfolg der Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen wird über ein geeignetes Grundwasser- und Oberflächenwassermonitoring begleitet.

Ausblick

Mit der vorgeschlagenen Maßnahmenkombination ist von einer deutlichen Verbesserung der PFC-Belastungssituation in Boden-, Grund- und Oberflächenwasser im Umfeld des Flughafens Nürnberg auszugehen.

Derzeit findet eine kontinuierliche Abarbeitung der einzelnen Arbeitsschritte mit zunehmender Konkretisierung der Maßnahmen (Entwurfs-, Genehmigungs-, Ausführungsplanung) statt.

Aufbauend auf den aktuellen Untersuchungen und Erkenntnissen wurde ein verbindlicher Sanierungsplan nach § 13 BBodSchG als fachliche und rechtliche Grundlage für die erforderliche Sanierung und Sicherung der PFC-Altlast erstellt.

Die komplette Umsetzung, der im Sicherungs- und Sanierungskonzept beschriebenen Maßnahmen inklusive aller erforderlichen Bauarbeiten, wird bis Mitte des Jahres 2019 erwartet.

5.1.5. Altdeponieüberwachung im Stadtgebiet - Komplexe Herausforderungen für den Grundwasserschutz – neue Möglichkeiten für die Stadtentwicklung

An drei im Stadtgebiet vorhandenen Altdeponien ist es aufgrund von neuen Erkenntnissen zur Schadstoffsituation (Buchenbühl) bzw. in Zusammenhang mit anstehenden Bauvorhaben (Silberbuck) und städtebaulicher Planungen (Fuchsloch) erforderlich, die vorhandenen Überwachungs- und Sicherungssysteme (Grundwassermonitoring, Oberflächenabdichtung) an die aktuellen Entwicklungskonzepte anzupassen.

Altdeponie Buchenbühl

Die Altdeponie Buchenbühl befindet sich unmittelbar östlich des Stadtteils Buchenbühl und südwestlich angrenzend an die Bundesautobahn A3.

Historie

Der frühere, rund 3,3 ha große Steinbruch wurde ab ca. 1925 bis 1945 zur Gewinnung von Ton, Lehm und Sandstein genutzt. Der Gesteinsabbau endete oberhalb des Hauptgrundwasserstockwerks. Von 1939 bis 1952 erfolgte abschnittsweise die Wiederverfüllung der Grube mit Bau- und Trümmerschutt sowie Industrieabfällen. Im Zeitraum 1945 – 1947 stand die Deponie unter alliierter Verwaltung der US-Armee. Von 1988 bis 1991 erfolgte die Sicherung des Standorts durch eine mineralische Oberflächenabdichtung (Lehmschlag). Für die Entwässerung der Deponiefläche wurde am Böschungsfuß eine 2-strangige Ringdrainage errichtet, mit Ableitung des Niederschlagswassers nach Süden in Richtung Hirschsprunggraben.

Gefährdungsabschätzung

Bei der Altdeponie Buchenbühl liegen im unmittelbaren Abstrom des tieferen Grundwasserstockwerks (25 - 30 m Tiefe) am nordwestlichen Deponierand, trotz der von 1988-1991 errichteten Oberflächenabdichtung, deutlich erhöhte Arsen-Belastungen vor (vgl. Abbildung 111). Die jährliche, von der Deponie abströmende Schadstofffracht beträgt ca. 15 kg Arsen.

Die Hauptursache der Grundwasserbelastungen wird mit einer in der Nachkriegszeit dokumentierten Ablagerung von ca. 12 t arsenhaltigen Abfällen im nordwestlichen Deponierand in Verbindung gebracht.

Auf Grundlage der aktuellen Untersuchungsergebnisse ist davon auszugehen, dass die Grundwasserunreinigung durch eine fehlerhafte Drainage im Bereich des Arsenlagers in Verbindung mit einer lokalen Zuspiesung aus einem oberflächennahen Schichtwasservorkommen verursacht wird.

Sanierungsplanung

Nach aktuellem Planungsstand ist im nordwestlichen Deponiesektor eine Optimierung der bestehenden Sicherungsmaßnahme (Oberflächenabdichtung und vertikale Dichtwand zur Reduzierung des Sicker- und Schichtwasserzutritts) und eine zusätzliche hydraulische Grundwassersanierung (Abstromsicherung) vorgesehen.

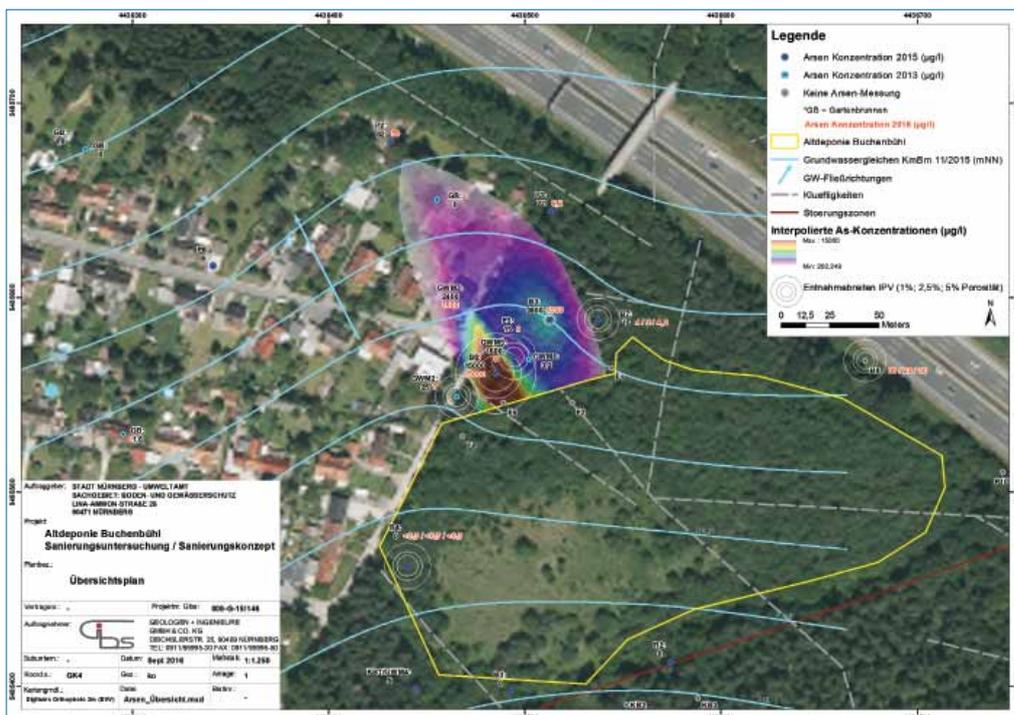


Abbildung 111: Arsen-Schadstofffahne im nordwestlichen Randbereich der Altdeponie Buchenbühl (Quelle: Gbs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG)

Altdeponie Silberbuck

Die Altdeponie Silberbuck befindet sich im südlichen Stadtgebiet und liegt zwischen dem Naherholungsgebiet Dutzendteich und dem Messegelände.

Historie

Die Deponie ist auf dem Gelände der hufeisenförmigen Baugrube für das in der NS-Zeit geplante „Deutsche Stadion“ errichtet worden. Die Deponiesohle liegt in ca. 10 m Tiefe (Stadiongrube). Die Deponie wurde von 1946-1962 betrieben und ist auf einer Fläche von 35 ha mit Bauschutt, Trümmerschutt, Hausmüll und Industriemüll verfüllt worden. Oberflächlich weist der Silberbuck eine Höhe von rund 30 m auf (vgl. Abbildung 112). Die unterirdischen Deponiebereiche liegen im Grundwassereinfluss. Der nördlich an den Silberbuck anschließende Silbersee bildet den Rest der grundwassergespeisten Stadionbaugrube.

Silbersee und Schwefelwasserstoff

Der im Bau- und Trümmerschutt enthaltene Gips (Calciumsulfat) wird infolge des durchströmenden Grundwassers gelöst. Das auf diese Weise gelöste, ungiftige Sulfat reagiert unter anaeroben und reduzierenden Bedingungen im Wasser zum giftigen Schwefelwasserstoff. Höhere Konzentrationen an Schwefelwasserstoff wurden in der Vergangenheit wiederholt im angrenzenden Silbersee gemessen. Das Einatmen hoher Schwefelwasserstoffkonzentrationen kann lebensgefährliche Folgen haben. Aus diesem Grund besteht ein Badeverbot im Silbersee (vgl. Abbildung 113). Zusätzlich wird eine Belüftungs- und Umwälzanlage betrieben, die einer Aufkonzentration von Schwefelwasserstoff entgegenwirkt.

Bauvorhaben Messe Nordumfahrung

Die NürnbergMesse GmbH beabsichtigt aus logistischen Gründen die Erweiterung des Messegeländes nach Norden. Bei der geplanten Erweiterungsfläche handelt es sich um Teilbereiche der Altdeponie Silberbuck (vgl. Abbildung 114). Im Zusammenhang mit den bautechnisch bedingten Eingriffen in den Deponiekörper wird ein umfassendes Beweissicherungskonzept zum Umgang mit belastetem Ablagematerial (Bodenmanagement) und zur Überwachung der Grundwassersituation erarbeitet.

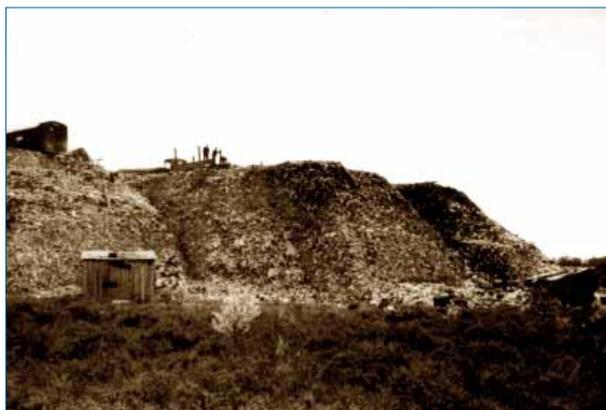


Abbildung 112: Altdeponie Silberbuck um 1950
(Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtarchiv: A38 Nr. SP-299)



Abbildung 113: Silbersee mit Hinweisschild zum Schwimmverbot
(Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum (SÖR))

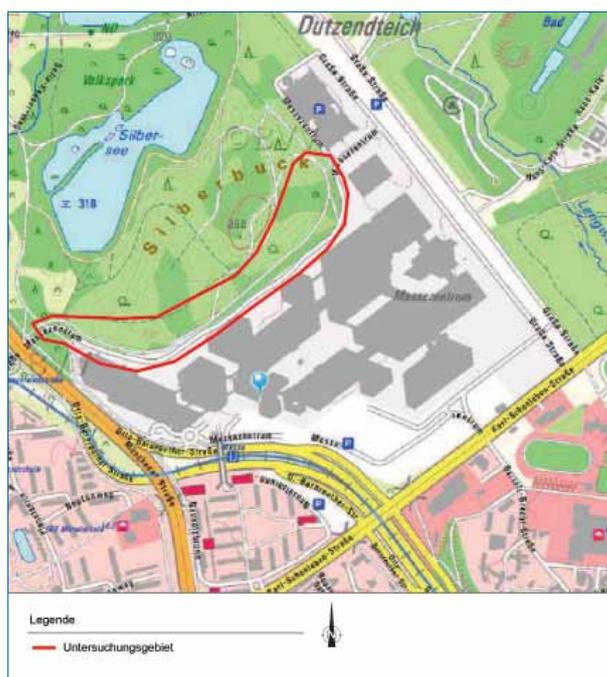


Abbildung 114: Geländeumgriff Baumaßnahme Messe Nordumfahrung (Quelle: CDM Smith Consult GmbH)

5. Grundwasserschutz

Altdeponie Fuchsloch

Für den Standort des ca. 8 ha großen, ehemaligen AEG-Nordareals liegt die besondere Situation vor, dass das Gelände über mehrere Jahrzehnte gewerblich genutzt wurde und sich zudem im Untergrund eine Altdeponie befindet (Fuchslochdeponie / Pegnitzhangschüttung, ca. 6,7 ha Fläche).

Im Rahmen des Stadterneuerungsgebietes „Weststadt“ finden aktuell Planungen für eine höherwertige Entwicklung des Standortes statt. Im Zuge der Bauleitplanung wurden zur Überprüfung einer städtebaulichen Entwicklung umfangreiche Altlastenerkundungen durchgeführt.

Das zwischen 1938 bis 1950 regellos angeschüttete Deponiematerial ist sehr inhomogen und besteht aus mineralischen und gewerblichen Ablagerungen (Bodenaushub, Brandschutt, Bauschutt, Schlacke, Glas, Metall etc.). Organische Abfälle wurden nur untergeordnet angetroffen.

Bei den festgestellten Schadstoffen handelt es sich um eine Mischung aus deponiespezifischen Verunreinigungen und Restbelastungen, die auf die ehemalige gewerbliche Nutzung des Areals zurückzuführen sind.

Auf Basis der aktuell vorliegenden Erkenntnisse konnte nachgewiesen werden, dass für das AEG-Nordareal – trotz Altdeponie – die Möglichkeit einer städtebaulichen Entwicklung hin zu einer höherwertigen Nutzung besteht. Die grundsätzliche Möglichkeit für eine bauliche Nutzung zeigt die, bereits in früheren Jahren durchgeführte, Entwicklung des Industriestandortes durch AEG.

Im Hinblick auf zukünftige Baumaßnahmen sind aufgrund der festgestellten Schadstoffbelastungen und der heterogenen Ablagerungsverhältnisse erhöhte Aufwendungen für die Entsorgung von belastetem Bodenmaterial, für technische Schutzvorkehrungen und spezielle Bauwerksgründungen zu beachten.

Fazit

Einzelne Altdeponien beschäftigen die zuständigen Stellen nach wie vor. Trotz zum Teil komplexer Altlastensituationen sind - auch auf Grund neuer technischer Möglichkeiten - positive Entwicklungen möglich.

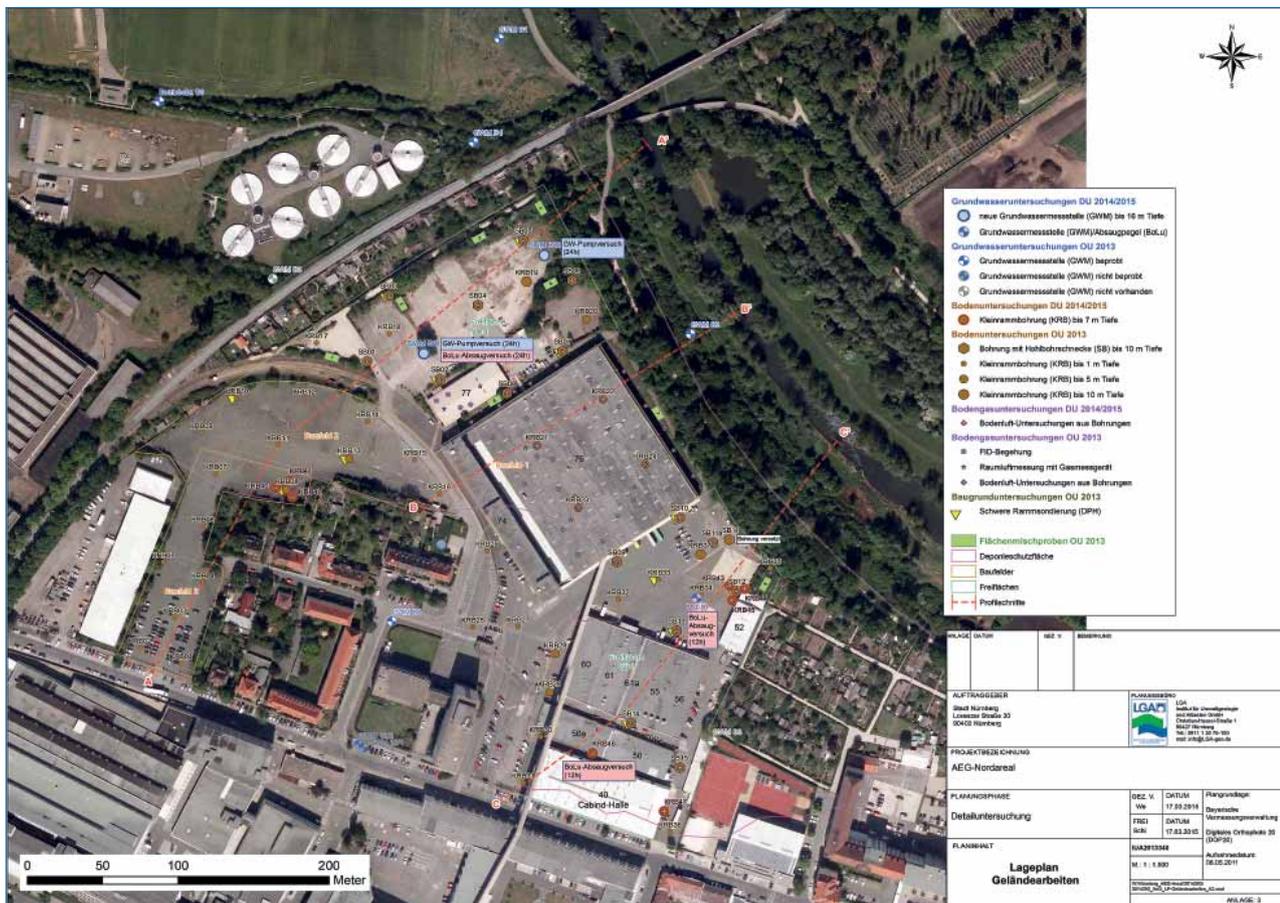


Abbildung 115: AEG-Nordareal – Altdeponie Fuchsloch (Quelle: LGA IUA GmbH)

5.1.6. Ermittlung einer LCKW-Schadstoffausbreitung mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells im Bereich Rangierbahnhof und Ausbesserungswerk Nürnberg

(Deutsche Bundesbahn AG DB Immobilien - C. Rauch in Kooperation mit dem Umweltamt)

Geologie und Hydrogeologie im Bereich Rangierbahnhof und Ausbesserungswerk

Der Untergrund im Bereich des Rangierbahnhofs und Ausbesserungswerks wird durch Sandsteine mit zwischengeschalteten Tonlagen / Letten des Mittleren Keuper (Unterer Burgsandstein bis Blasensandstein) gebildet. Im östlichen Randbereich des Ausbesserungswerks hat sich eine bis zu 40 m tiefe Erosionsrinne (Urstromtal der Pegnitz) in das Keuper-Festgestein eingeschnitten (vgl. Abbildungen 116 und 117).

Diese Quartäre Rinne ist mit sandigen und kiesigen Lockerseimenten verfüllt und entwässert einen bedeutenden Anteil des Grundwasserzustroms in Richtung Norden. Weiterhin strömt ein Teil des Grundwassers aus der quartären Rinne nach Nordwesten in das Keuper-Festgestein (Kluftgrundwasserleiter). Darüber hinaus sind noch lokale Schichtwasservorkommen zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 117), die in Richtung quartäre Rinne abfließen (Drainagewirkung).

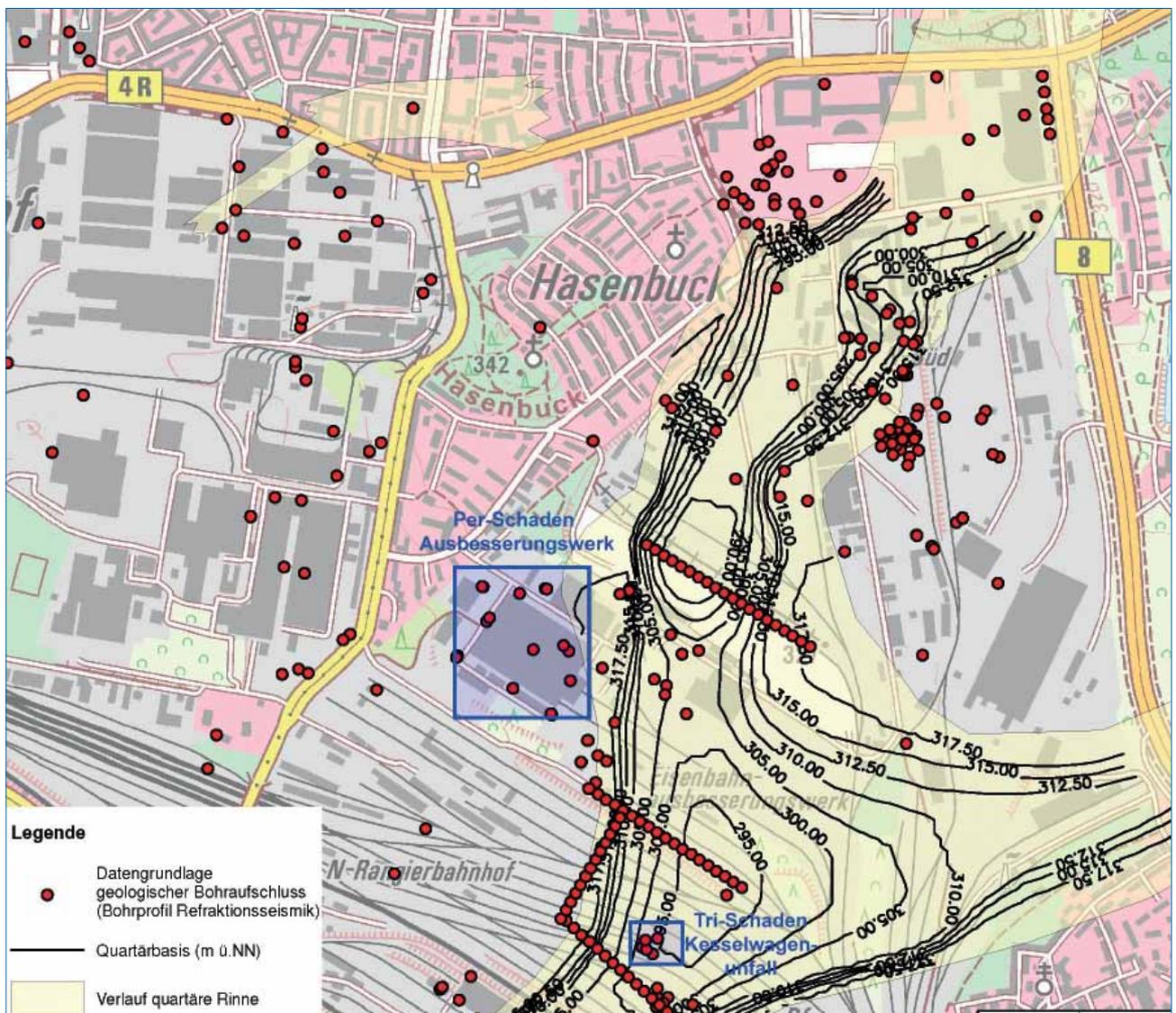


Abbildung 116: Übersicht über die räumlichen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes mit Darstellung der Morphologie der Quartären Rinne (Höhenlinien der Quartärbasis) sowie vorhandener Grundwassermessstellen (Quelle: R&H Umwelt GmbH [134])

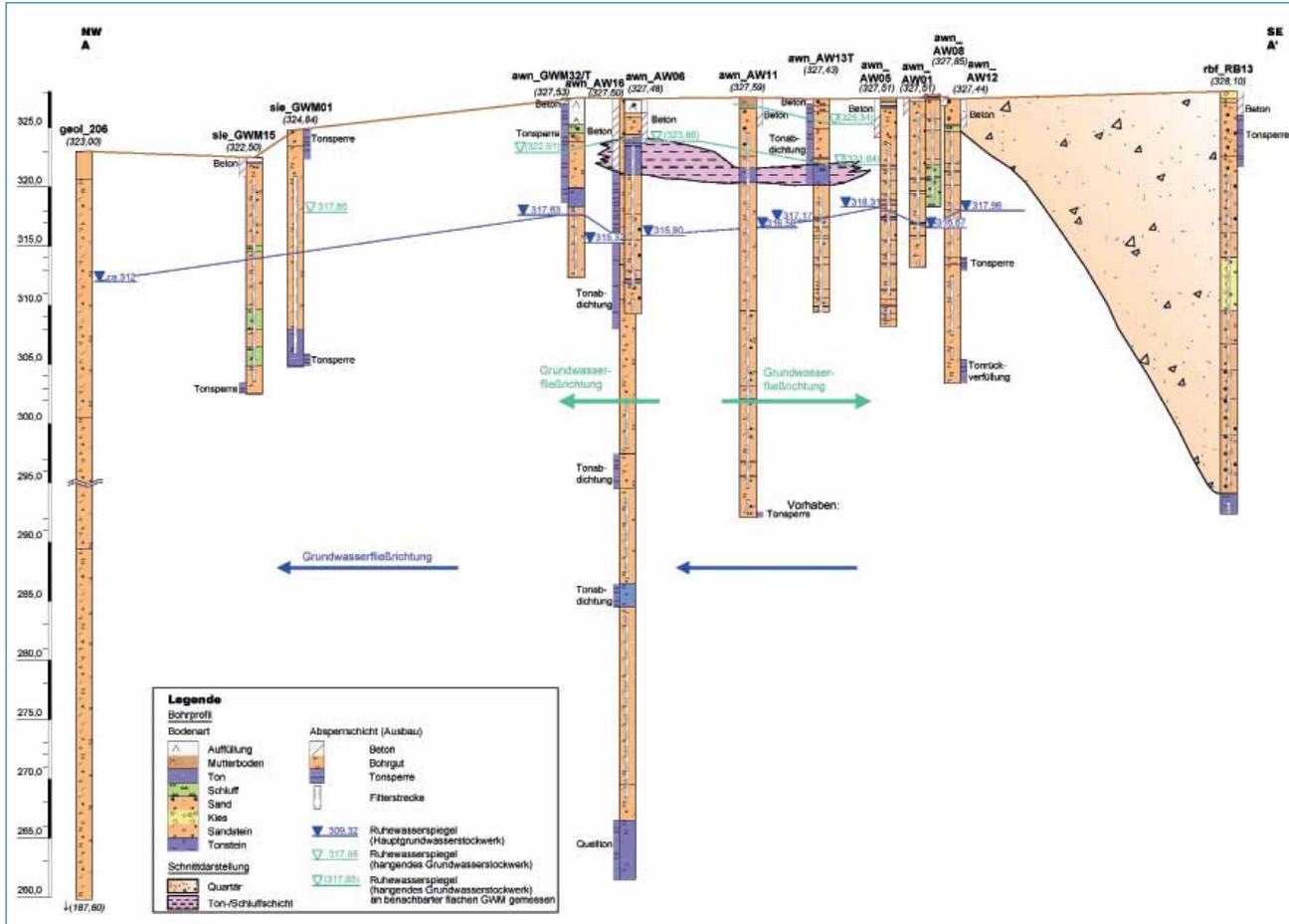


Abbildung 117: Geologischer Schnitt von NW nach SO; vom Industriegebiet Gibitzenhof westlich Hasenbuck bis zum östlichen Grundstücksbereich des Rangierbahnhofes (Quelle: R&H Umwelt GmbH [134])

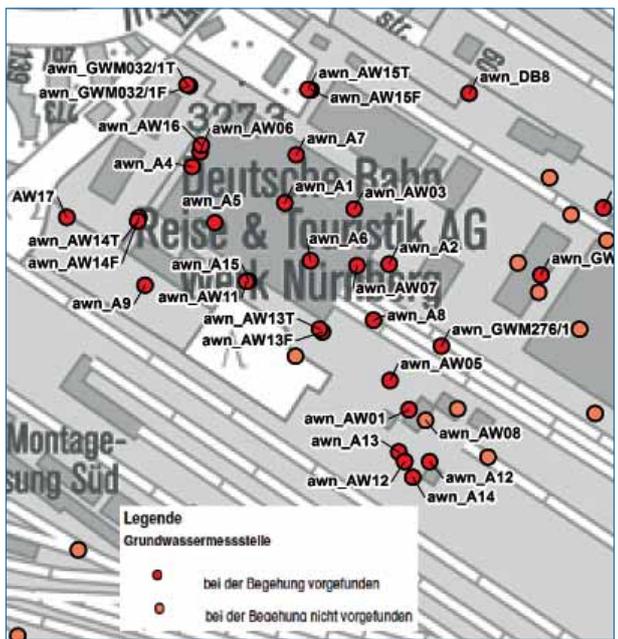


Abbildung 118: Messstellen und Sanierungspegel im Bereich des Ausbesserungswerkes (AW) (Quelle: R&H Umwelt GmbH [134])

Schadensfallhistorie

Ausbesserungswerk (Per-Schaden)

Im Bereich des Ausbesserungswerkes werden seit 1989 Bodenluft- und Grundwasserverunreinigungen mit LCKW (leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe) und der Hauptkomponente Per (Tetrachlorethen oder auch PCE, ein Parameter aus der Gruppe der LCKW) saniert. Der zu untersuchende Standort Ausbesserungswerk befindet sich am westlichen Rand der quartären Rinne und zur Hälfte bereits im Bereich des Sandsteinkeupers (vgl. Abbildung 116).

Im Laufe der Jahre wurde ein erstes hydrogeologisches Basisgutachten erarbeitet sowie zahlreiche Förder- und Absaugbrunnen zur Sanierung des Per-Schadens errichtet (vgl. Abbildung 118). Seit Sanierungsbeginn wurden bisher rund 1.800 kg LCKW aus dem Grundwasser und ca. 1.950 kg LCKW aus der Bodenluft ausgetragen.

Kesselwagen-Havarie (Tri-Schaden)

Südlich des Ausbesserungswerkes ereignete sich Anfang der 1970er Jahre im Bereich des Rangierbahnhofes die Havarie eines Kesselwagens (vgl. Abbildung 116), bei der vermutlich einige Tonnen der Chemikalie Tri (Trichlorethen oder auch TCE; ebenfalls ein Parameter aus der Gruppe der LCKW) in den Untergrund versickerten.

Die Sanierung des Tri-Schadens, der sich vollständig im Bereich der quartären Rinne befindet, erfolgte in den 1990er Jahren über eine hydraulische Maßnahme (Pump & Treat) und Bodenluftsanierung.

Es konnten im Bereich der Kesselwagen-Havarie ca. 27 kg LCKW durch Bodenluftabsaugung und ca. 221 kg LCKW durch Grundwasserförderung aus dem Untergrund entfernt werden.

Die Maßnahme wurde aufgrund geringer Schadstoffausträge und -konzentrationen im März 1999 eingestellt. Es war zum damaligen Zeitpunkt davon auszugehen, dass ein Großteil der in das Grundwasser eingetragenen Tri-Schadstoffe bereits über die quartäre Rinne abgeströmt ist.

Vertiefte Sanierungsuntersuchungen (Tiefbrunnen AW 16)

Ab dem Jahr 2007 wurden während der laufenden Sanierung der Per-Verunreinigung im Bereich des Ausbesserungswerkes überraschenderweise deutlich ansteigende LCKW-Summenkonzentrationen mit einem zunehmenden Anteil des Einzelparameters Tri festgestellt (insbesondere am Brunnen AW 06, vgl. Abbildung 118). Es wurde vermutet, dass diese auffälligen Tri-Belastungen im Zusammenhang mit dem älteren und weiter im Süden gelegenen Kesselwagen-Unfall aus den 70er Jahren stehen.

Zur weiteren Klärung des Sachverhalts fanden vertiefende Detailuntersuchungen im Umfeld der quartären Rinne bis zur Erosionsbasis statt (Direct-Push-Sondierungen). Im Bereich des Ausbesserungswerkes wurde ein neuer Brunnen bis 61 m Tiefe gebohrt (AW 16, vgl. Abbildung 118) und tiefendifferenzierte Pumpversuche durchgeführt. Im Ergebnis war festzuhalten, dass innerhalb der quartären Rinne keine relevanten LCKW-Belastungen oder Schadstoff-Pools nachweisbar waren.

An der neuen Tiefenmessstelle AW 16 konnten hingegen zwischen 20 und 60 m Tiefe erhebliche Tri-Belastungen gemessen werden, die sich deutlich von der bis 20 m Tiefe reichenden Per-Verunreinigung abgrenzen lassen.

Grundwasserströmungsmodell

Auf Grundlage der neuen Untersuchungsergebnisse erhärtete sich der Verdacht, dass die Tri-Schadstoffe aus dem Kesselwagen-Unfall nicht, wie ursprünglich vermutet, größtenteils über das Urstromtal abströmten, sondern erhebliche Schadstofffrachten aus der Rinne in das angrenzende Festgestein infiltrierten und sich dann weiter nach Nordwesten in Richtung Ausbesserungswerk ausbreiteten.

Weitere Erkenntnisse zum Ausmaß der Tri-Verunreinigung und zur Optimierung der Sanierungsmaßnahmen sollte ein detailliertes Grundwassermodell liefern. Hierfür waren umfangreiche Datenrecherchen mit Geländeaufnahmen zur Geologie und Hydrogeologie erforderlich.

In das Modell (vgl. Abbildung 119) fanden Daten von insgesamt 222 Grundwassermessstellen, refraktionsseismische Profile entlang der quartären Rinne, die Ergebnisse der Direct-Push-Sondierungen sowie diverser Pumpversuche Eingang.

Errichtung der Tiefenmessstelle AW 17

Wie im Bericht zum Grundwassermodell empfohlen, wurde im Sommer 2016 im abstromigen Bereich des Ausbesserungswerkes süd-westlich der AW 16 die neue Messstelle AW 17 (vgl. Abbildung 118) bis zu den Lehrbergsschichten in 60 m Tiefe abgeteuft und umfassend untersucht (Zwischenpumpversuch, geophysikalische Bohrlochmessungen, Leistungspumpversuch).

Wesentliche Schlussfolgerungen zur Optimierung der Sanierung

Im oberflächennahen Grundwasser bis in ca. 20 m Tiefe überwiegt in der LCKW-Zusammensetzung eindeutig der im Ausbesserungswerk in den Untergrund eingetragene Schadstoff Per. Dieser Schaden wird über die laufenden Maßnahmen wirkungsvoll saniert.

Restbelastungen des Tri-Schadens der Kesselwagen-Havarie in den 70-er Jahren unterströmen das Ausbesserungswerk innerhalb des Blasensandsteines in Tiefen zwischen 20 und 60 m.

Die aktuellen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass mit den neuen Tiefenmessstellen der südliche Bereich des Ausbesserungswerkes und insbesondere der tiefere Abstrom des Tri-Schadens ebenfalls vollständig erfasst werden kann.

Ausblick

Über eine bereits angestoßene Variantenstudie mit der Zielsetzung, den gesamten Abstrom des Ausbesserungswerkes sowie der Tri-Unfallstelle zu erfassen, wird derzeit die Einbeziehung der beiden Tiefenmessstellen AW 16 und AW 17 in die Sanierung geprüft. Der Anschluss der beiden Messstellen an die Sanierung ist derzeit für 2019 geplant. Im Zuge dessen soll zudem die in Teilen seit 1991 betriebene Sanierungsanlage erneuert werden.

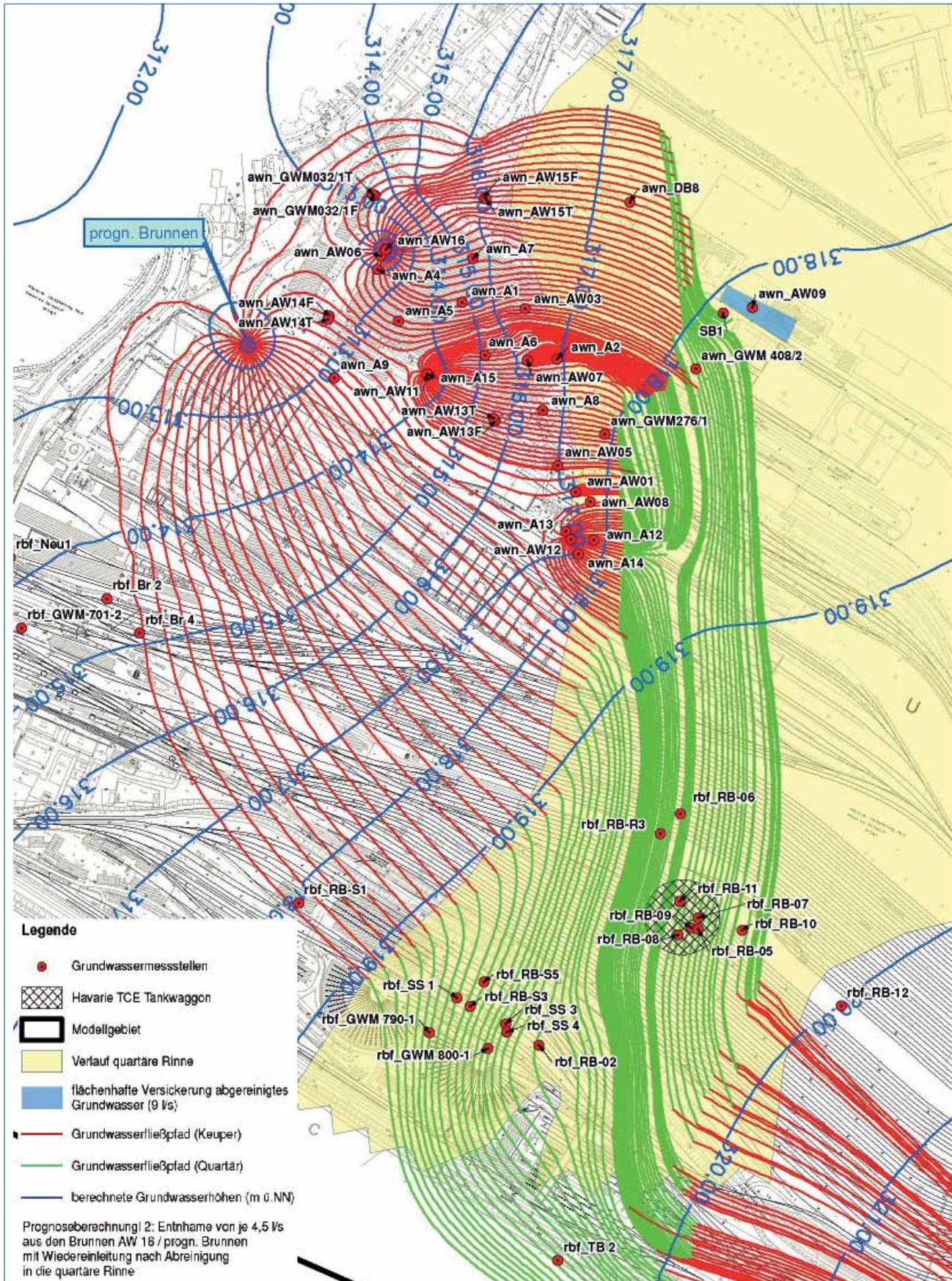


Abbildung 119: Karte Prognoseberechnung 2: Entnahme von je 4,5 l/s aus den Brunnen AW 16 / progn. Brunnen mit Wiedereinleitung in die quartäre Rinne (Quelle: R&H Umwelt GmbH [134])

5.1.7. Altlasten bei Chemischen Reinigungen – Erfahrungen aus 30 Jahren Schadensfallsachbearbeitung

Hintergrund

Seit etwa 1925 wurde in Deutschland zunächst Trichlorethen (Tri) und ab etwa 1930 Tetrachlorethen (Per), beides Stoffe aus der Parametergruppe der Leichtflüchtigen Chlorierten Kohlenwasserstoffe (LCKW), in immer größerem Umfang zum Zweck der Chemischen Reinigung verwendet. In den 1950er Jahren führte die maschinentechnische Entwicklung (geschlossene Hochtrommelanlagen in kompakter Schrankbauweise) zu zahlreichen Neueröffnungen von Chemischen Reinigungen.

Das hohe Grundwassergefährdungspotential der LCKW wurde erst zu Beginn der 1980er Jahre erkannt. Es stellte sich heraus, dass selbst Betonwannen das eingesetzte Reinigungsmittel Tetrachlorethen (Per) nicht zurückzuhalten vermögen und dass es aufgrund seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften bei unsachgemäßem Umgang relativ leicht in den Untergrund gelangen konnte.

Ab Mitte der 1980er Jahre wurden die Betreiber von Chemischen Reinigungen von der Stadt Nürnberg zur technischen Nachrüstung ihrer Anlagen aufgefordert und parallel dazu ist die systematische Erfassung und Bewertung der Altlastenrelevanz von Chemischen Reinigungen erfolgt. Ende der 1980er Jahre konnte mit den Sanierungen von Schadensfällen begonnen werden.

1987 waren 91 Chemische Reinigungen in Betrieb. Eine verschärfte Umweltgesetzgebung führte ab 1993 zu einem Strukturwandel bei den Chemischen Reinigungsbetrieben. So waren bereits 1993 nur noch 47 Betriebe registriert, 2000 waren es 30 Betriebe und im Jahr 2015 arbeiteten noch 19 Chemische Reinigungen in Nürnberg.

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse 1987 - 1989

Ab Mitte 1987 bis Ende 1989 wurden vom Umweltamt bei den 91 damals aktiven Chemischen Reinigungen Bestandsaufnahmen und eine erste Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials vorgenommen. Bei den Betriebsbesichtigungen erfolgte eine gezielte Überprüfung der vorhandenen technischen und organisatorischen Schutzvorkehrungen zur Erfassung von potenziellen Per-Eintragsstellen.

Folgende Kriterien fanden Berücksichtigung:

- Lage des Grundstücks (z.B. im / oder in der Nähe eines Wasserschutzgebietes)
- Per-Einsatzdauer (z.B. mehr als 30 Jahre)
- Per-Jahresverbrauch (z.B. mehr als 1.000 kg)
- Per- Lagerbereiche
- Anzahl / Standorte der Reinigungsmaschinen
- Sorgloser Umgang (z.B. Handhabungsverluste bei Abfüllvorgängen)
- Unterkellerung der Gebäude
- Entwässerungstechnische Einrichtungen.

Von den 91 überprüften Standorten wurden 53 Anlagen-Betreiber durch das Umweltamt zur Nachrüstung der Betriebseinrichtungen aufgefordert. 44 Betriebe investierten daraufhin in technische Schutzvorkehrungen.



Abbildung 120: Aktivkohle-Reinigungsanlage einer Bodenluftabsaugung (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

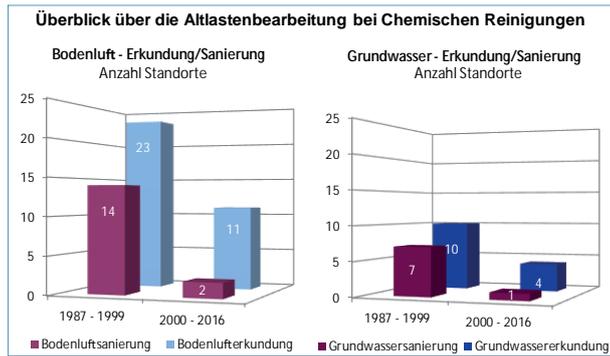


Abbildung 121: Überblick Altlastenbearbeitung bei chemischen Reinigungen in den Jahren 1987 - 2016 (Untersuchungs- und Sanierungsbeginn) (Quelle Stadt Nürnberg Umweltamt)

Per - Konzentration [mg/m ³] in der Bodenluft	Standorte
< 10	9
> 10 bis < 100	7
> 100 bis < 1.000	9
> 1.000	9
Summe	34

Tabelle 14: Anfangskonzentration von Per in der Bodenluft bei den Erkundungsstandorten, (LfW-Merkblatt 3.8/1: LHKW: Stufe 1-Wert: 5 mg/m³, Stufe-2-Wert: 50 mg/m³)

Per - Austragsklasse [kg]	Sanierungs-Standorte	Per-Austragsmenge gesamt
< 1	2	2
1 bis < 50	9	115
> 50 bis < 300	4	542
> 300	1	2.060
Summe	16	2.719

Tabelle 15: Austragsmengen von Per aus der Bodenluft bis zum Ende bzw. aktuellen Stand der Sanierung (Per-Austragsklasse: Austragsmenge kg/Standort; Per-Austragsmenge gesamt: Gesamtmenge Per-Austrag in kg aus der Bodenluft für in der Zeile angegebene Anzahl von Standorten)

Sanierungsdauer Bodenluft [Jahre] *	Standorte
< 1	6
1 bis 5	5
> 5	5

Tabelle 16: Per-Bodenluft-Sanierungsdauer (* 2 Bodenluftsanierungen sind noch in Betrieb)

Altlastensachbearbeitung bei Chemischen Reinigungen 1987 - 2016

Bei der Ermittlung von Schadstoffen im Untergrund ist schrittweise vorzugehen. Auf Grundlage der Erkenntnisse aus den Betriebsbesichtigungen wurden zwischen 1987 und 1990 insgesamt 19 Betreiber von Chemischen Reinigungen zur Durchführung von Orientierenden Altlastenerkundungen mittels Bodenluftsondierungen aufgefordert. Zwischen 1991 und 1999 wurden bei weiteren 4 Betrieben entsprechende Untersuchungen durchgeführt.

Mit Einführung der Bundes-Bodenschutzgesetze im Jahr 1999 wurde vor allem über das neue Instrument der Amtsermittlung der Altlastenverdacht bei weiteren Chemischen Reinigungen überprüft. Im Zeitraum 2000 bis Ende 2016 wurde bei insgesamt 11 Standorten eine Orientierende Altlastenerkundung vorgenommen (davon 10 Amtsermittlungen).

Auf Grundlage der Ergebnisse aus den Bodenluftprobenahmen und -absaugversuchen sowie unter Berücksichtigung der lokalen, geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse wurden auch Sickerwasserprognosen erstellt. Die Bewertung der Untersuchungsergebnisse erfolgt nach dem LfU Merkblatt 3.8/1 [139].

Sofern anhand dieser Gefährdungsabschätzung ein Schadstoffeintrag in das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden konnte, wurden die Betreiber im nächsten Schritt zur Durchführung einer Bodenluftsanierung und / oder zur Überprüfung der Grundwasserbelastungssituation durch die Errichtung einer Grundwassermessstelle aufgefordert.

Im Ergebnis war bei 16 Reinigungsbetrieben eine Bodenluftsanierung und an 14 Standorten Grundwasseruntersuchungen erforderlich.

Bei 8 Standorten waren die gemessenen Grundwasserkonzentrationen und erzielbaren Austragsfrachten so hoch, dass eine Grundwassersanierung aufzunehmen war.

In Karte 19 ist die Altlastenbearbeitung, d.h. die durchgeführten Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen, bei den 91 Chemischen Reinigungen zusammenfassend dargestellt.

Bodenlufterkundung und Bodenluftsanierung

Bei allen untersuchten Standorten wurden Per-Belastungen nachgewiesen, jedoch in ganz unterschiedlichen Konzentrationsbereichen. Mit Hilfe von Bodenluftsanierungen konnten bis Ende 2016 insgesamt rund 2.700 kg Per aus der Bodenluft ausgetragen werden. Hervorzuheben ist, dass rund 75% der Gesamt-Fracht an einem Einzelstandort ausgetragen wurde. Die Dauer der einzelnen Bodenluftsanierungen ist sehr unterschiedlich und hängt maßgeblich von der Konzentrationsentwicklung und von den erzielbaren Austragsraten ab.

Tabellen 14 bis 16 geben einen Überblick über die Bodenluftbelastungen und -sanierungen.

Grundwassersanierungen

Die Tabellen 17 bis 19 geben einen Überblick über die Anfangskonzentrationen zu Beginn, die Austragsmengen und die Sanierungsdauer von / bei Grundwassersanierungen an Standorten von Chemischen Reinigungen.

Bis Ende 2016 konnten rund 350 kg LCKW (überwiegend Per) aus dem Grundwasser entfernt werden.

Einzelfallbetrachtung

Die Chemische Reinigung wurde seit 1975 bis 1988 am Standort betrieben.

- 1992 Bodenluftekundungen und Errichtung einer Grundwassermessstelle
- 1992-1997 Konkursverfahren – juristische Auseinandersetzungen
- 1997-2010 Bodenluftsanierung (Austrag 260 kg Per aus der Bodenluft)
- 1997-2005 Grundwassersanierung
- 2005 Abschluss eines Sanierungsvertrages mit zwei Firmen
- 2005-2008 Grundwassersanierung
- 2008-2012 Grundwassermonitoring

Insgesamt konnten bei diesem Einzelfall über die Grundwassersanierung zwischen 1997 und 2008 rund 55 kg LCKW aus dem Grundwasser entfernt werden. Das anschließend noch über vier Jahre durchgeführte Monitoring wurde 2012 beendet. Der Sanierungserfolg wird in Tabelle 20 deutlich.

Finanzierung der Altlastenerkundungen und Sanierungen

Da es sich bei den Textilreinigern überwiegend um kleine Familienbetriebe handelt, stellt die Finanzierung der Altlastenerkundungen und ggf. Sanierungsmaßnahmen ein zentrales Problem dar.

Zur Klärung der rechtlichen und finanziellen Aspekte sind seitens des Umweltamtes neben einer hohen Verhandlungsausdauer auch pragmatische und teilweise kreative Lösungen gefragt. So beteiligte sich in einem Fall die Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern (GAB) an der Sanierung.

Fazit und Ausblick

Insgesamt kann auf eine erfolgreiche Bewältigung der Schadstoffbelastung, die in der Vergangenheit aus Unkenntnis und unsachgemäßem Umgang durch Chemische Reinigungen verursacht wurde, zurückgeblickt werden.

Es kann davon ausgegangen, dass die größten Schadstoffverunreinigungen mit den bisherigen Untersuchungsaktionen ermittelt und bearbeitet sind. Die Bearbeitung ist dennoch nicht abgeschlossen.

So ist an 2 Standorten nach wie vor eine Bodenluftsanierung in Gang und an 3 Standorten eine Grundwassersanierung in Betrieb. Im Zuge weiterer Amtsermittlungen und bei geplanten Bau- oder Umnutzungsvorhaben werden in den nächsten Jahren weitere ehemalige Chemische Reinigungen einer konkreten Vor-Ort-Untersuchung unterzogen.

Per - Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	Standorte
1.000 – 5.000	4
5.000 – 10.000	2
> 10.000	2
Summe	8

Tabelle 17: Per-Konzentrationen im Grundwasser (LfW-Merkblatt 3.8/1: LHKW: Stufe 1-Wert: 10 $\mu\text{g/l}$, Stufe-2-Wert: 40 $\mu\text{g/l}$ [139])

Per - Austragsklasse [kg]*	Standorte	Per-Austragsmenge gesamt
<1	1	0,6
1 bis < 50	4	113,2
>50 bis < 100	2	122
>100	1	113
Summe	8	348,8

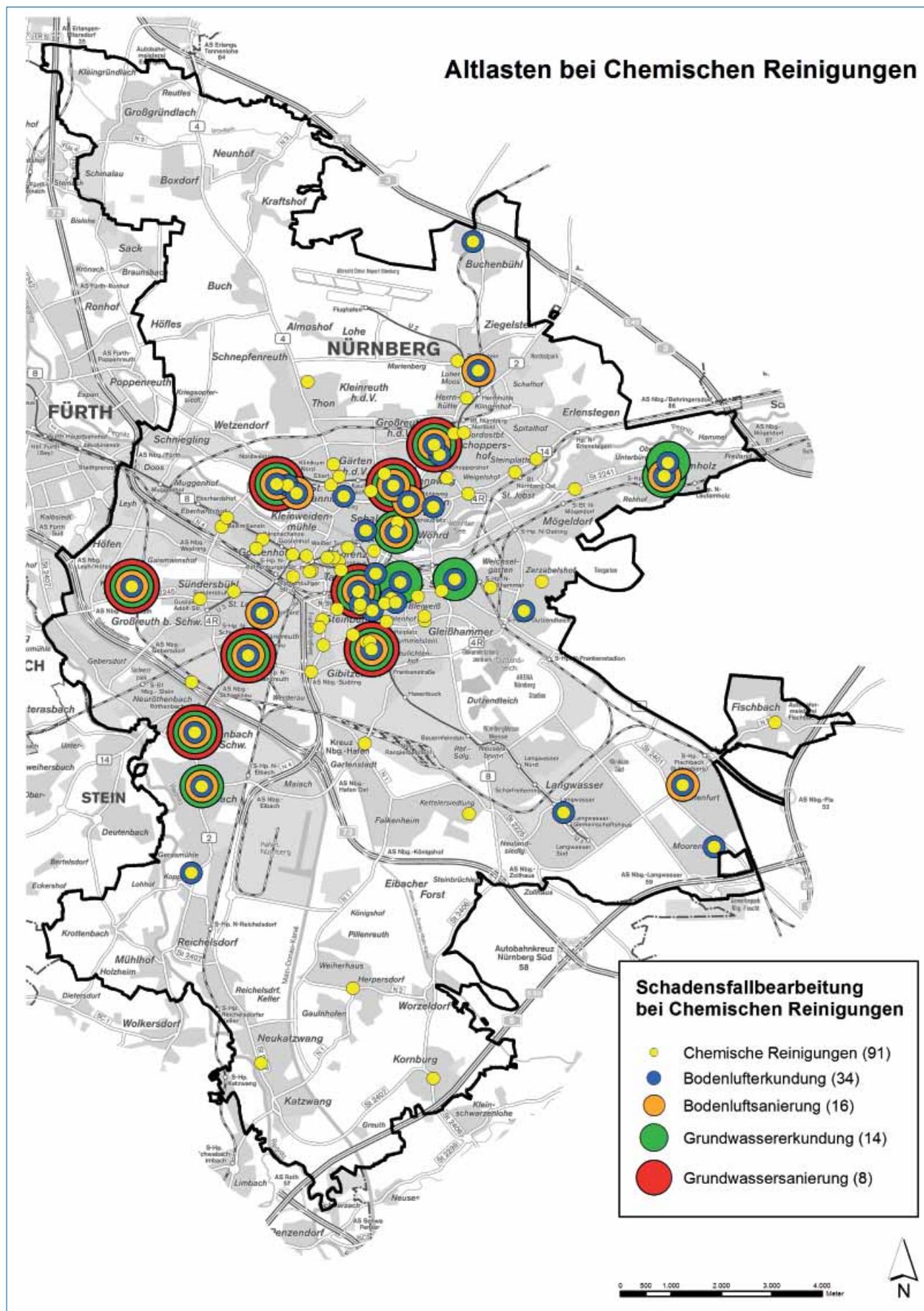
Tabelle 18: Per-Grundwasser-Austragsmengen (* 3 Grundwassersanierungen sind noch in Betrieb)

Sanierungsdauer Grundwasser [Jahre]*	Standorte
< 1	1
1 bis 5	2
5 - 10	5
>10	3

Tabelle 19: Per-Grundwasser-Sanierungsdauer (* 3 Grundwassersanierungen sind noch in Betrieb)

Jahr	LCKW [$\mu\text{g/l}$]
1997	22.520
1998	3.530
2001	860
2005	350
2007	290
2011	82
2012	39

Tabelle 20: Entwicklung der LCKW-Konzentrationen im Grundwasser im Verlauf der Sanierung bei dem betrachteten Einzelfall (LfW-Merkblatt 3.8/1: LHKW: Stufe 1-Wert: 10 $\mu\text{g/l}$, Stufe-2-Wert: 40 $\mu\text{g/l}$)



Karte 19: Altlasten bei Chemischen Reinigungen (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

5.2. Boden- und Grundwasserschutz bei Baumaßnahmen

5.2.1. Altlastenrelevanz bei Baumaßnahmen

Im Zusammenhang mit einer Neubauplanung, Umnutzung, Entsiegelung oder Bodenaushubmaßnahme wird die Fragestellung, ob ein Grundstück von Untergrundverunreinigungen betroffen ist, unmittelbar relevant. Denn bei Herstellung sensiblerer Nutzungen (z.B. Frei- und Spielflächen) und im Zuge von Entsiegelungen sowie Eingriffen in den Untergrund (z.B. Bauaushubmaßnahmen) entsteht im Falle altlastenrelevanter Vornutzungen erhöhter Handlungsbedarf im Hinblick auf das veränderte Gefährdungspotential sowie dem Umgang mit anfallenden Aushubmaterialien.

Ob ein Grundstück mit Altlasten oder schädlichen Bodenveränderungen belastet ist bzw. sein könnte, hängt von der Nutzungsgeschichte ab. Nicht nur große und mittlere Industriestandorte können, abhängig von der Produktionsgeschichte, altlastenverdächtig sein. In der Vergangenheit wurden auch gravierende Schadensfälle bei einigen ehemaligen kleinen Hinterhofwerkstätten (z.B. Galvaniken) festgestellt.

Bauherren und Grundstückseigentümern sowie Kaufinteressenten von Grundstücken wird deshalb empfohlen, sich aktiv und frühzeitig über eine mögliche Altlastenrelevanz auf dem betreffenden Grundstück zu erkundigen. Spätestens im Zuge von Bauanträgen werden die Grundstückseigentümer über eventuelle Anforderungen, die sich aufgrund altlastenrelevanter Hinweise ergeben, durch das Umweltamt informiert und zu entsprechenden Maßnahmen aufgefordert.

Informationsquelle Altlastendatenbank

Altlasten sind die Kehrseite des enormen technischen und industriellen Fortschritts der letzten 150 Jahre.

Der allzu sorglose Umgang mit Chemikalien und Abfällen und die Unkenntnis der Auswirkungen verursachten häufig Verunreinigungen des Untergrundes. Das Gefahrenpotenzial für Mensch und Umwelt wurde dabei oft zu spät erkannt.

In den Jahren 1984/1985 führten höchstrichterliche Urteile, die Bebauungspläne für unrechtmäßig erklärten, weil sie den Aspekt „Altlasten“ nicht berücksichtigten, zum Beginn der Altlastendiskussion, auch in Nürnberg. Anfang der 90er Jahre waren deshalb die Kreisverwaltungsbehörden aufgefordert, im Rahmen der Bauleitplanung „Flächen mit erheblichen Bodenverunreinigungen“ zu kennzeichnen. Damals war nicht ganz klar, welche Flächen hierzu eigentlich in Frage kommen. Als mögliche Standorte wurden zunächst alle umweltrelevanten Gewerbeflächen angesehen. Aufgrund dieser baugesetzlichen Vorgabe wurde ein „Altlastenverdachtsflächen-Kataster“ (AVF-Kataster) bei der Stadt Nürnberg aufgebaut.

Das weiterentwickelte und nun als „Altlastendatenbank“ bezeichnete Kataster der Stadt Nürnberg kann Grund-

stückseigentümern und Informationsberechtigten Hinweise für eine mögliche ehemalige altlastenrelevante Grundstücksnutzung geben. Sie umfasst derzeit Informationen zu rund 5.500 Grundstücken in Nürnberg.

Aufbau der Altlastendatenbank

Das „AVF-Kataster“ entstand im Jahr 1991 mit einer Auswertung von Branchenbüchern der Jahre 1926, 1938, 1955, 1970, 1980 und 1990. Dabei wurden Industrie- und Gewerbestandorte erfasst, die einer umweltrelevanten Branche (gemäß einschlägiger Branchenlisten mit Bewertung des Gefährdungspotentials) zugeordnet werden konnten. Dieser erste Hinweis über eine Branchenzuordnung auf eine mögliche Altlast wurde nachfolgend durch weitere Recherchen verifiziert (siehe unten). Die Datenbank enthielt damit „Altlasten-Verdachtsflächen“.

Definition der Altlasten mit Einführung der Bodenschutzgesetze

Mit in Kraft treten des BBodSchG im Jahr 1999 wurde der Begriff Altlasten definiert. Neben den ehem. Mülldeponien (Altablagerungen) sind es die ehemaligen industriell oder gewerblich genutzten Grundstücke (Altstandorte), auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist und von denen heute Gefahren für den Menschen oder die Umwelt ausgehen können.

Datenquellen der Altlastendatenbank

Die heutige „Altlastendatenbank der Stadt Nürnberg“ basiert auf der Auswertung verschiedenster Datenquellen:

- *Kenntnisse aus der wasserrechtlichen Sachbearbeitung*
Seit 1986 werden in Nürnberg Altlasten-Untersuchungen durchgeführt und Umgangsbereiche mit umweltrelevanten Stoffen in Betrieben überprüft. Die Ortsbegehungen und, soweit vorhanden, die Untersuchungsergebnisse sind dokumentiert.
- *Kartei über Tankanlagen*
Dem Umweltamt sind etwa 7.000 unterirdische Tankanlagen bekannt. Im Bereich von diesen Anlagen werden häufig Schadstoffe im Boden festgestellt.
- *Erste Historische Recherchen*
Bei den, durch die o.g. Adressbuchauswertung erfassten, Altlastenverdachtsflächen liefert ein Blick in die Historie der Fläche erste Anhaltspunkte über mögliche Schadstoffe im Untergrund. Mitte der 90er Jahre wurden die registrierten Grundstücke hinsichtlich ihrer tatsächlichen Relevanz einer Überprüfung durch eine erste, kurz gefasste historische Recherche (in der Regel Aus-

wertung von Entwässerungsakten) unterzogen. Solche Recherchen liegen für einen Großteil der Verdachtsflächen vor. Grundsätzlich müssen diese jedoch mittels einer qualifizierten Historischen Recherche durch einen Altlastensachverständigen weiter verifiziert werden.

- *Untersuchungsergebnisse, Gutachten*

Für mehr als 1.150 Flächen liegen bereits Kenntnisse zur Untergrundsituation aufgrund vorhandener Altlasten-Gutachten vor. Sie liefern konkrete Hinweise, ob mit Schadstoffen im Untergrund zu rechnen ist. Sofern festgestellt wurde, dass, z.B. unter der aktuellen Nutzung (meist Versiegelung und unsensible Gewerbenutzungen), derzeit bei diesen Standorten kein akutes Gefährdungspotential für die Belange Mensch / Pflanze / Grundwasser gegeben ist, so kann jedoch ein vertiefender Untersuchungs- oder Sanierungsbedarf bei einer Entsiegelungs- oder Umnutzungsmaßnahme erforderlich werden.

- *Altlastenflächen*

Die „Altlastendatenbank der Stadt Nürnberg“ enthält außerdem Grundstücke, die als Altlasten im Sinne des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) eingestuft werden bzw. wurden. Hierbei handelt es sich um Flächen, von denen erhebliche Gefahren für Mensch und / oder Umwelt ausgehen oder ehemals ausgegangen sind. Aufgrund der Erkenntnisse sind bei diesen Standorten gesonderte Auflagen im Rahmen von Bautätigkeiten, die mit Entsiegelungen, Erdarbeiten oder Versickerungen einhergehen, zu berücksichtigen.

Auskünfte aus der Altlastendatenbank der Stadt Nürnberg

Im Rahmen von Immobilientransaktionen werden häufig Auskünfte angefordert, um in Erfahrung zu bringen, ob das betreffende Grundstück beim Umweltamt als Altlastenverdachtsfläche eingestuft wird.

Die Mitarbeiter des Umweltamts stellen nach schriftlichem Antrag Informationen aus der „Altlastendatenbank der Stadt Nürnberg“ zusammen. Die Auskünfte sind gebührenpflichtig. Die Höhe der Gebühren richtet sich nach dem entstandenen Zeitaufwand.

Seit Jahren liegen die entsprechenden Anfragezahlen auf einem hohen Niveau mit weiteren Steigerungen in den Jahren ab 2015. Auf Grund der starken Baukonjunktur sollen auch noch bislang vorhandene Brachen oder locker bebauter Grundstücke nachverdichtet oder umgenutzt (z.B. Gewerbe und Wohnen) werden.

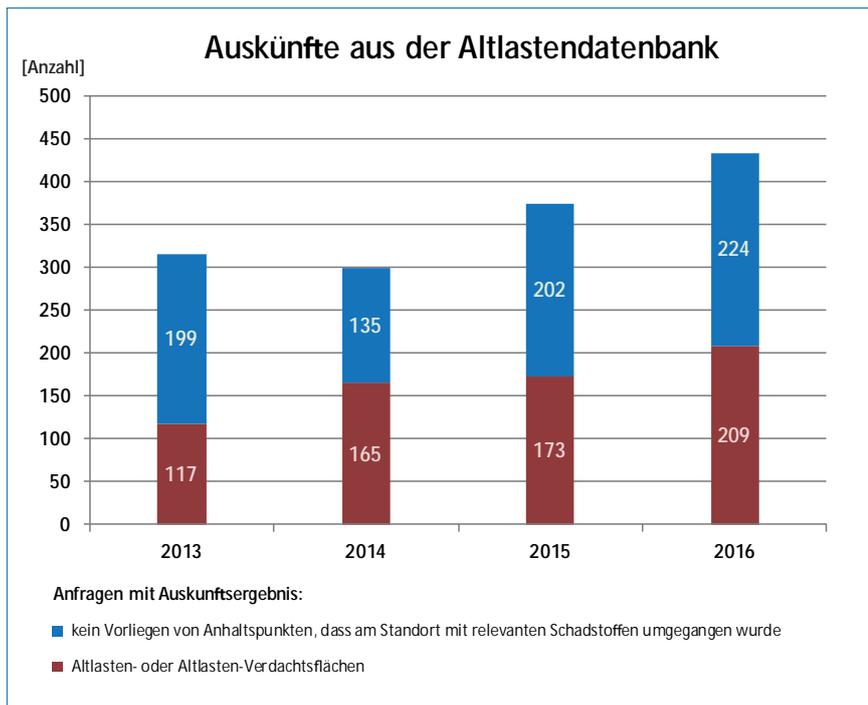


Abbildung 122: Überblick über Auskünfte aus der Altlastendatenbank
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

5.2.2. Bauvorhaben auf Altlasten- und Altlastenverdachtsflächen

Bauanträge, die bei der Bauordnungsbehörde der Stadt Nürnberg eingereicht werden, werden im Rahmen der Fachstellenbeteiligung durch das Umweltamt unter anderem hinsichtlich der Altlastenrelevanz bewertet. Es wird beispielsweise überprüft, ob es sich bei dem Baugrundstück um eine Altlasten- oder Altlastenverdachtsfläche handelt, ein relevanter Eingriff in den Untergrund stattfindet (z.B. durch die Errichtung einer Tiefgarage) und / oder eine sensible Nutzungsänderung vorgesehen ist (z.B. ehemalige Gewerbefläche in Wohnbebauung etc.).

Sofern für das Baugrundstück ein Hinweis auf eine umweltrelevante Vornutzung bzw. einen relevanten Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vorliegt und somit ein Eintrag von Schadstoffen in den Untergrund nicht auszuschließen ist, werden die entsprechenden Bauträger / Grundstückseigentümer durch das Umweltamt angeschrieben und über die, im Zuge des Bauvorhabens zu beachtenden, bodenschutzrechtlichen Anforderungen informiert.

Die intensive bauliche Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass selbst im Falle notwendiger, kostenintensiver Boden- und / oder Grundwassersanierungsmaßnahmen, diese aktuell kein zwingendes Investitionshindernis mehr darstellen. Aufgrund der sich in den letzten Jahren, auch in Nürnberg abzeichnenden Wohnknappheit, den stark gestiegenen Grundstücks- und Immobilienpreisen werden die zusätzlichen Kosten für die Sicherung oder Beseitigung von Altlasten, insbesondere bei größeren Bauvorhaben, zunehmend wirtschaftlicher und werden bei der Projektplanung berücksichtigt. In zahlreichen Fällen im Stadtgebiet konnten sogar Grundwasserreinigungsanlagen inkl. Sanierungsinfrastruktur (Brunnen, Messstellen, Leitungen etc.) innerhalb von Wohnbauprojekten, in Einkaufs- oder Baumärkten integriert werden ohne die eigentliche Nutzung zu beeinträchtigen (Abbildung 123 - Abbildung 126).

Bei einer Vielzahl von Grundstücken besteht zudem grundsätzlich die Möglichkeit im Rahmen des Bauvorhabens eine Altlastenfreistellung zu erwirken.

Für eine solche offizielle Entlassung aus dem Altlastenverdacht mittels Bescheid ist in einem ersten Schritt die Erstellung einer Historischen Recherche durch einen Altlastensachverständigen erforderlich. Darauf aufbauend ist ein mit den Fachbehörden abzustimmendes Untersuchungskonzept zu erarbeiten und eine orientierende Altlastenerkundung durchzuführen. In Abhängigkeit der Untersuchungsergebnisse kann dann nach der Vorlage eines Abschlussberichtes über die altlastentechnische Begleitung der Baumaßnahme am Umweltamt eine Entlassung aus dem Altlastenverdacht beantragt werden.



Abbildung 123: Sanierungsanlage neben Lebensmitteldiscounter (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Abbildung 124: Sanierungscontainer auf dem Gelände eines Baumarktes (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Abbildung 125: Sanierungsarbeiten auf einem ehem. Tankstellenstandort (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)



Abbildung 126: Attraktive Wohnbebauung nach Sanierung einer ehemaligen Altlast (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

5.2.3. Bauen und Grundwasser

Ein wichtiger Schritt bei der Planung eines Gebäudes ist die Ermittlung der Grund- und Schichtwassersituation, denn Bauwerke wie Keller und Tiefgaragen sowie die Baugruben greifen oft in den Grundwasserkörper ein.

Zum Schutz des Grundwassers sind Eingriffe in den Grundwasserkörper jedoch nach Möglichkeit zu vermeiden bzw. weitgehend zu minimieren.

Ist ein Bauen im Grundwasserbereich unumgänglich, ist es notwendig, die Auswirkungen des Baukörpers auf das Grundwasser (z.B. Grundwasserabsenkung) oder eine Beeinflussung von Nachbargrundstücken und die Auswirkungen des Grundwassers auf den Baukörper zu bestimmen.

Plangrundlagen - Bestimmung der Grundwasserstände

Eine wesentliche Planungsgrundlage für Bauwerke sind deshalb Kenntnisse über die Grundwasserstände vor Ort.

Als erste Hinweise, ob Wasser beim Bauen ein relevantes Thema sein kann, können schon die Bezeichnungen von Stadtteilen gelten, die ihre Lage zum Wasser bereits im Namen tragen, wie z.B. Eibach, Fischbach, Großgründlach.

Mit Hilfe von Flurabstandskarten können Baugrundbereiche erkannt werden, die aufgrund geringer Flurabstände (in der Regel < 3 m unter GOK) im unmittelbaren bzw. mittelbaren Einflussbereich des Grundwassers liegen. Die bisher erstellten Flurabstandskarten für das Stadtgebiet Nürnberg gelten für niedrige bzw. mittlere Grundwasserstände (Anlage B und Anlage 3 des Grundwasserberichtes 2011 [1]); eine Interpolation für höhere Grundwasserstände wurde für die Planungshinweiskarte, Karte 20, erstellt.

Das Umweltamt empfiehlt jedem Bauträger sich über ein potenzielles Altlastenrisiko auf dem Baugrundstück frühzeitig durch eine Auskunft aus der Altlastendatenbank zu informieren (vgl. Kapitel 5.2.1.).

Durch die rechtzeitige Einbindung der Fachbehörden und die regelmäßige Abstimmung mit dem Grundstückseigentümer und dem Altlastensachverständigen können in der Regel pragmatische, zielgerichtete und wirtschaftliche Lösungen für das Bauvorhaben entwickelt werden und auf diese Weise auch unnötige Verzögerungen im Bauablauf bzw. unvorhergesehene Zusatzkosten vermieden werden.

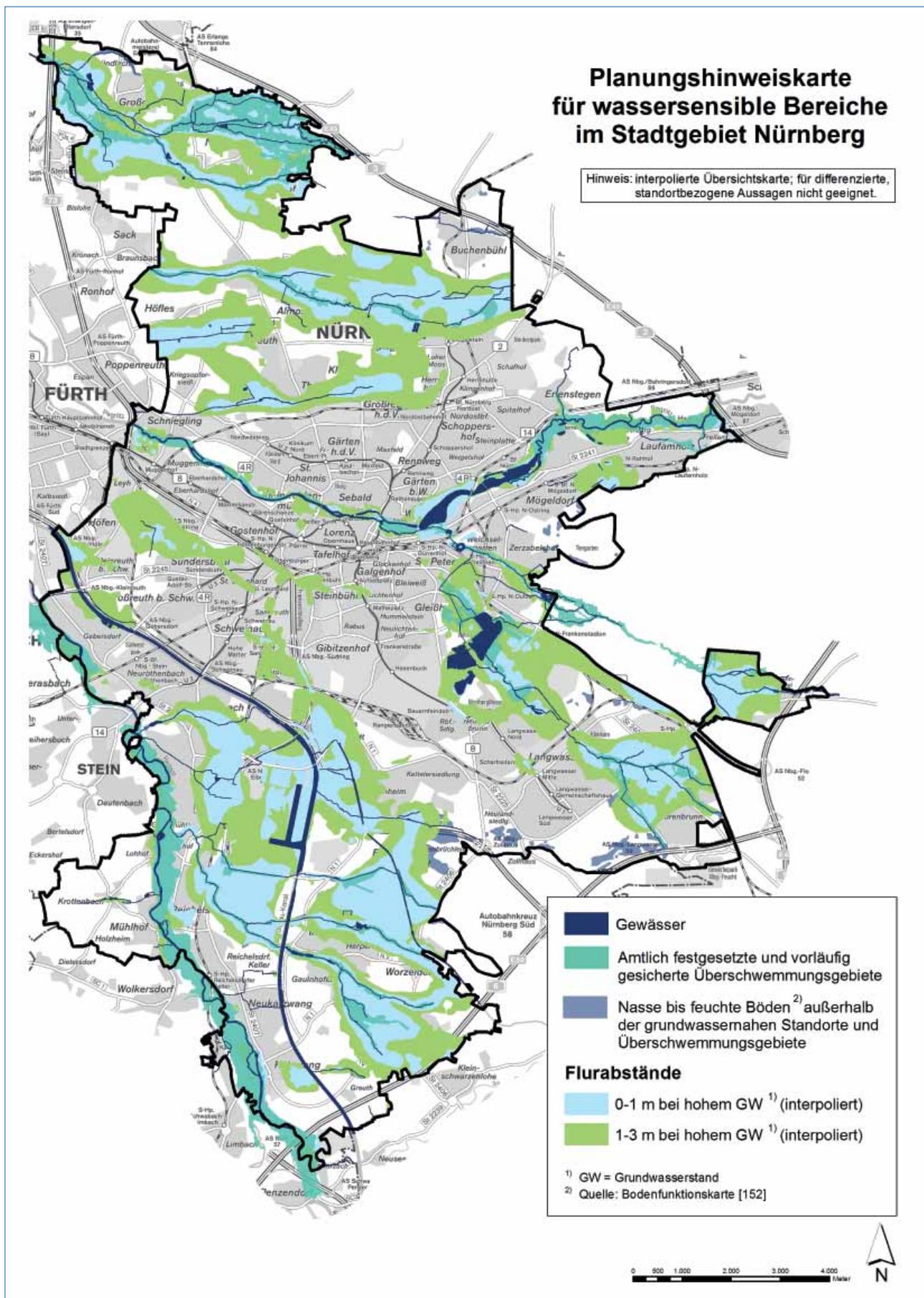
Weiterhin können für eine Ersteinschätzung der am Baugrund vorhandenen Untergrundbedingungen die Daten von nahegelegenen Untergundaufschlüssen und Messergebnisse aus umliegenden Grundwassermessstellen herangezogen werden; dazu können:

- die Einzelergebnisse der Stichtagsmessungen vom März und Oktober 2010 sowie vom Oktober 2016 im Internet von der Homepage des Umweltamtes abgerufen werden (https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/grundwasser_messprogramm.html) und
- zahlreiche, im Bohrungskatalog der Stadt Nürnberg erfasste Untergrundinformationen und Einzelmesswerte von Grundwassermessstellen und Bohrungen (vgl. Kapitel 3.2.1.) im Stadtgebiet beim Umweltamt oder beim Service öffentlicher Raum (SÖR) abgefragt werden.

Die **Planungshinweiskarte, Karte 20**, wurde für einen ersten Überblick über wassersensible Bereiche (hier: grundwassernahe Standorte, Überschwemmungsgebiete, nasse und feuchte Böden) für das Stadtgebiet Nürnberg erstellt. Sie ist als ein erster, unverbindlicher Hinweis für Bauherren und Ingenieurbüros zu verstehen.

Genaue Untersuchungen und die verbindliche Bestimmung des Bemessungswasserstandes müssen von qualifizierten Ingenieurbüros für den jeweiligen Einzelfall durchgeführt werden.

In der Karte werden interpolierte Flurabstände bei einem errechneten, eher hohen, Grundwasserniveau dargestellt.



Karte 20: Planungshinweiskarte wassersensibler Bereiche im Stadtgebiet Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

Die Interpolation beruht nicht auf einer tatsächlichen Messung der Grundwasserstände, sondern wurde auf Grundlage der Ergebnisse der letzten Stichtagsmessung (Oktober 2016) und einer rechnerischen Addition um einen Meter erstellt. Dabei wird berücksichtigt, dass:

- die Grundwasserstände bei der Stichtagsmessung 2016 um durchschnittlich 0,5 m niedriger lagen als bei der Flurabstandskarte vom Oktober 2010, welche in etwa mittlere Grundwasserstände abbildet [1].
- bei den Grundwasserstands-Zeitreihen des Datenlogger-Messnetzes der Stadt Nürnberg (vgl. Kapitel 3.2.3.) die Grundwasserhochstände im Jahr 2013 um durchschnittlich 0,5 m über dem mittleren Grundwasserniveau lagen.

Beim Bauen muss neben dem Grundhochwasser auch die Gefährdung von Bauwerken durch Hochwasser der Oberflächengewässer berücksichtigt werden. Deshalb sind die bislang festgesetzten oder vorläufig gesicherten Überschwemmungsgebiete ebenfalls in Karte 20 dargestellt.

An grundwassernahen Standorten und in Überschwemmungsgebiete sind häufig auch nasse bis feuchte Böden anzutreffen. Weitere solcher Böden sind in Arealen mit oberflächennahen Schichtwasservorkommen anzutreffen. Diese zusätzlichen Areale, die aus der Bodenfunktionskarte des Arten- und Biotopschutzprogrammes bekannt sind, werden als Hinweis für nasse und feuchte Standorte zusätzlich dargestellt.

Zusätzlich zu den Informationen in der Planungshinweiskarte ist das Thema [Staunässe](#) oder die Möglichkeit von [Schichtwasservorkommen](#) zu beachten.

Wenn davon auszugehen ist, dass der Baukörper stets innerhalb eines bestimmten Grundwasserstandes zum Liegen kommt, sollte für das Tiefbauwerk ein [Bemessungswasserstand](#) festgestellt werden. Er ist unter anderem im Zusammenhang mit dem Nachweis der Auftriebssicherheit, Wasserdichtheit und bei der Dimensionierung von Bauwerken erforderlich.

Der Bemessungswasserstand ist der höchste zu erwartende Wasserstand. Er muss besondere Naturereignisse wie extreme Hochwässer verbunden mit einem zeitgleichen Auftreten von starken Niederschlägen berücksichtigen. Es wird deshalb in der Regel jeweils ein Sicherheitszuschlag zum bisher höchsten gemessenen Wasserstand ergänzt. Zusätzlich muss bei der Ermittlung berücksichtigt werden, dass Grundwasserstände auch durch umliegende temporäre oder länger anhaltende Grundwasserentnahmen bzw. durch die Reduktion oder Aufgabe solcher Entnahmen verändert sein bzw. sich ändern können. Als Grundlage für den Bemessungswasserstand ist der mögliche zukünftige Grundwasserstand relevant.

Bei Bauwerken die in den Grundwasserstrom reichen ist außerdem die Fließrichtung zu ermitteln, um mögliche Konsequenzen wie z.B. Grundwasseraufstau zu erkennen. Für ein einzelnes Bauvorhaben müssen dazu die genauen Fließverhältnisse Vor-Ort und in der Tiefe, in die der Baukörper eingreift, ermittelt werden. Die Fließrichtung kann erfahrungsgemäß kleinräumig und im Detail auch deutlich von der generellen Richtung abweichen. Letztere kann aus dem Grundwassergleichenplan in Anlage A entnommen werden. Es ist dort die Situation des gesamten, zusammengefassten Grundwasserleiters (Quartär + Sandsteinkeuper) in einer Maßstabsgenauigkeit von 1:25 000 dargestellt.

Hinweise für geplante Baukörper im Grundwasserbereich

Gebäudeschutz

Bei der Planung von Kellern und Tiefgaragen, Fundamenten und anderen Tiefbauwerken muss immer dann ein Schutz vor Grundwassereinflüssen bedacht werden, wenn das Bauwerk im Bereich des höchsten möglichen Grundwasserstandes (Bemessungswasserstand) zu liegen kommt. Zudem muss beachtet werden, dass bei bestimmten Boden- und Witterungsverhältnissen auch ein sich bildendes Stauwasser oder Schichtwasser zu Vernässungsproblemen an Gebäuden führen kann und ggf. auch dafür Schutzmaßnahmen einzuplanen sind.

Die grundlegendsten Probleme sind Kellernässungen, Gefährdung der Standsicherheit durch Setzungen oder Auftrieb und schließlich Materialschäden sowie Korrosion der Bewehrung durch betonaggressives Wasser. Es können dadurch beträchtliche Schäden an Gebäuden verursacht werden. Nachträgliche Maßnahmen sind - im schlecht zugänglichen Untergrund - oft technisch schwierig, aufwändig und teuer, deshalb sollten entsprechende Schutzmaßnahmen schon bei der Bauplanung berücksichtigt und auf eine fachgerechte Ausführung geachtet werden.

Gute Kenntnisse der örtlichen Boden- und Grundwasserverhältnisse sind für eine wirtschaftliche und nachhaltige Planung grundlegende Voraussetzung. Deshalb wird empfohlen vorab ein Baugrundgutachten zu beauftragen. Welche konkreten Gefährdungen durch Grund- und Stauwasser zu berücksichtigen sind und welche Verfahren sich für den Schutz am besten eignen, muss auf dieser Basis mit Fachleuten von Fall zu Fall geklärt werden.

Grundwasserschutz

Baukörper (Keller, Tiefgaragen etc.) und Baugrubensicherungen (Spundwände etc.), die ständig oder zeitweise in das Grundwasser eintauchen, beeinflussen das Grundwasser.

Wenn Anlagen geplant sind, die bestimmt oder geeignet sind, Grundwasser aufzustauen, abzusenken oder umzuleiten, wird grundsätzlich eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich.

Auch Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem erheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen, gelten als Gewässerbenutzung und bedürfen einer wasserrechtlichen Erlaubnis (§ 9 WHG, Art. 15 BayWG).

Beispiele für Grundwasserbenutzungen sind

- das durch Baukörper oder Baugrubenumschließungen verursachte zeitweise oder andauernde Aufstauen, Umleiten und Absenken von Grundwasser (Bauwasserhaltung) oder
- das auch dauerhafte Einbringen von Stoffen in ein Gewässer (z.B.: Baukörper, Baustoffe, Hochdruckinjektionen, Bohrpfähle, Fundamente oder Gebäude im Grundwasser).

Die wasserrechtliche Erlaubnis wird durch das Umweltamt erteilt und ersetzt keine sonstigen notwendigen Genehmigungen, wie z.B. die Baugenehmigung. Die Erlaubnispflicht für das Einbringen von Stoffen in das Grundwasser entfällt, wenn hierdurch keine nachteiligen Veränderungen des Grundwassers zu erwarten sind. Das Vorhaben muss in diesem Fall lediglich einen Monat vor Baubeginn dem Umweltamt angezeigt werden (§ 49 Abs. 1 Satz 2 WHG).

Dem Umweltamt sollte vor Beginn der Baumaßnahmen ein Baugrundgutachten zur Prüfung vorgelegt werden, in dem die Grundwassersituation auf der Baufäche beurteilt ist und das Angaben zur Baugrubensicherung sowie der geplanten Bauwasserhaltung enthält.

Von einer nachteiligen Veränderung des Grundwassers wird grundsätzlich ausgegangen wenn:

- ein Baukörper nahezu quer zur Fließrichtung des Grundwassers liegt,
- ein Baukörper tief in das Grundwasser eingreift,
- das natürliche Fließverhalten des Grundwassers durch die geplante Anlage negativ beeinflusst wird und so eine mögliche Gefährdung Dritter (wie z.B. feuchte Wände oder Wassereintritt) nicht ausgeschlossen werden kann oder
- sich das Material der eingebrachten Stoffe negativ auf die Qualität des Grundwassers auswirken kann. Beim Einbringen von Stoffen sind sämtliche, durch den verwendeten Baustoff (z.B. Zement, Bentonit, Weichgel), dessen Einbringungsvorgang (Injektion, Verdüsung etc.) sowie durch erforderliche Hilfsstoffe (z.B. Betonverflüssiger, Erstarrungsverzögerer, Abdichtungsmaterialien) verursachten Veränderungen der Grundwassereigenschaften zu beurteilen. Nur wenn alle vorgenannten Parameter das Grundwasser nicht gefährden oder schädlich verändern, darf das Einbringen zugelassen werden. Der beabsichtigte Einsatz von Zement, Bentonit, Weichgelen oder Hilfsstoffen im Grundwasser bedarf daher einer vorherigen wasserrechtlichen Beurteilung hinsichtlich der Auswirkungen auf die Grundwasserqualität.

Bauwasserhaltungen

Beim Bauen im Grundwasser ist für die Bauzeit – anders als für den Baukörper – der aktuelle Grundwasserstand und die Tiefenlage der in den Untergrund einbindenden Fundamente und Untergeschosse maßgebend. Daraus lässt sich ableiten, ob in diesem Zeitraum eine Grundwasserabsenkung zur Trockenhaltung der Baugrube erforderlich ist.

Bauwasserhaltungen bedürfen einer wasserrechtlichen Erlaubnis (§ 9 WHG, Art. 15 und 70 BayWG). Dazu gehört zum einen die Erlaubnis, die Baugrube trockenzulegen, als auch die Erlaubnis, anfallendes Grundwasser wieder dem Naturhaushalt zuzuführen.

Dabei ist folgendes zu beachten:

- Die Ableitung des Grundwassers erfolgt nur temporär, also während der Bauzeit.
- In ein Oberflächengewässer darf nur unverschmutztes Bauwasser eingeleitet werden. Sind Verschmutzungen in einer Baugrube unvermeidbar, muss eine Vorreinigung erfolgen, bevor das Bauwasser eingeleitet wird.
- Technische Maßnahmen, wie Baugrubensicherungen, sind nach Beendigung der Baumaßnahme fachgerecht zu entfernen.
- Bei Einleitung des Wassers in die öffentliche Kanalisation ist zusätzlich ein separater Antrag an den Stadtentwässerungsbetrieb Nürnberg zu stellen. Die Einleitung in die Kanalisation ist gebührenpflichtig.

Weitere Hinweise und die entsprechenden Antragsformblätter für Baukörper im Grundwasser und Bauwasserhaltung sind auf der Internetseite des Umweltamts eingestellt.



Abbildung 127: Wasser in der Baugrube
(Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

5.3. Maßnahmen für einen nachhaltigen Wasserhaushalt

5.3.1. Ortsnahe Niederschlagsbeseitigung - Sachstand in Nürnberg

Niederschlagswasser, das von versiegelten Flächen abläuft, kann in vielen Fällen gezielt in den Boden versickert werden. Diese Art der Niederschlagswasserbeseitigung ist gemäß Wasserhaushaltsgesetz vorrangig anzustreben. Dabei sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Der anstehende Boden darf nicht durch Altlasten vorbelastet sein bzw. muss er in diesem Fall vorher ausgetauscht werden (es ist ein Gutachten erforderlich).
- Der Boden sollte ausreichend wasserdurchlässig sein, d.h. einen k_f - Wert zwischen $1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-6}$ aufweisen.
- Die Versickerungsanlage sollte einen Abstand zum Grundwasser von mindestens einem Meter aufweisen.
- Es muss genügend Abstand zu Gebäuden eingehalten werden, um der Vernässungsgefahr vorzubeugen.
- Auf den Boden- und Grundwasserschutz muss geachtet werden.

Die Versickerung von Niederschlagswasser kann durch verschiedene Methoden erreicht werden. Diese werden unterteilt in:

- Flächenversickerung (Grünflächen, unbebaute Flächen, am „natürlichsten“)
- Muldenversickerung (Gezielte Zuleitung von Niederschlagswasser in eine begrünte Mulde)
- Mulden - Rigolen - Versickerung (Versickerung mit Speicherraum, geeignet für geringere Durchlässigkeiten des Bodens)
- Schachtversickerung (Schacht aus Beton od. Kunststoff; aus Gründen des Grundwasserschutzes ist diese Methode nur ausnahmsweise einzusetzen).

Ein Versickerungs- oder Niederschlagswasserbeseitigungskonzept kann auch eine Kombination von Versickerungsmethoden vorsehen und sollte nach Möglichkeit zusätzlich Maßnahmen zur Regenwasserrückhaltung (z.B. Dachbegrünung) einplanen. Es wird im Rahmen der Planungen empfohlen, zusätzlich einen Überflutungsnachweis erstellen zu lassen.

Versickerungsanlagen können ohne wasserrechtliche Genehmigung errichtet werden, wenn folgende Punkte eingehalten werden [107]:

- Die Versickerung erfolgt außerhalb von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten und außerhalb von Altlasten und Altlastverdachtsflächen.
- An eine Versickerungsanlage werden höchstens 1.000 m² befestigte Fläche angeschlossen.
- Das Niederschlagswasser wird flächenhaft über eine geeignete Oberbodenschicht versickert.



Abbildung 128: Muldenversickerung in Großreuth b. Schweinau (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

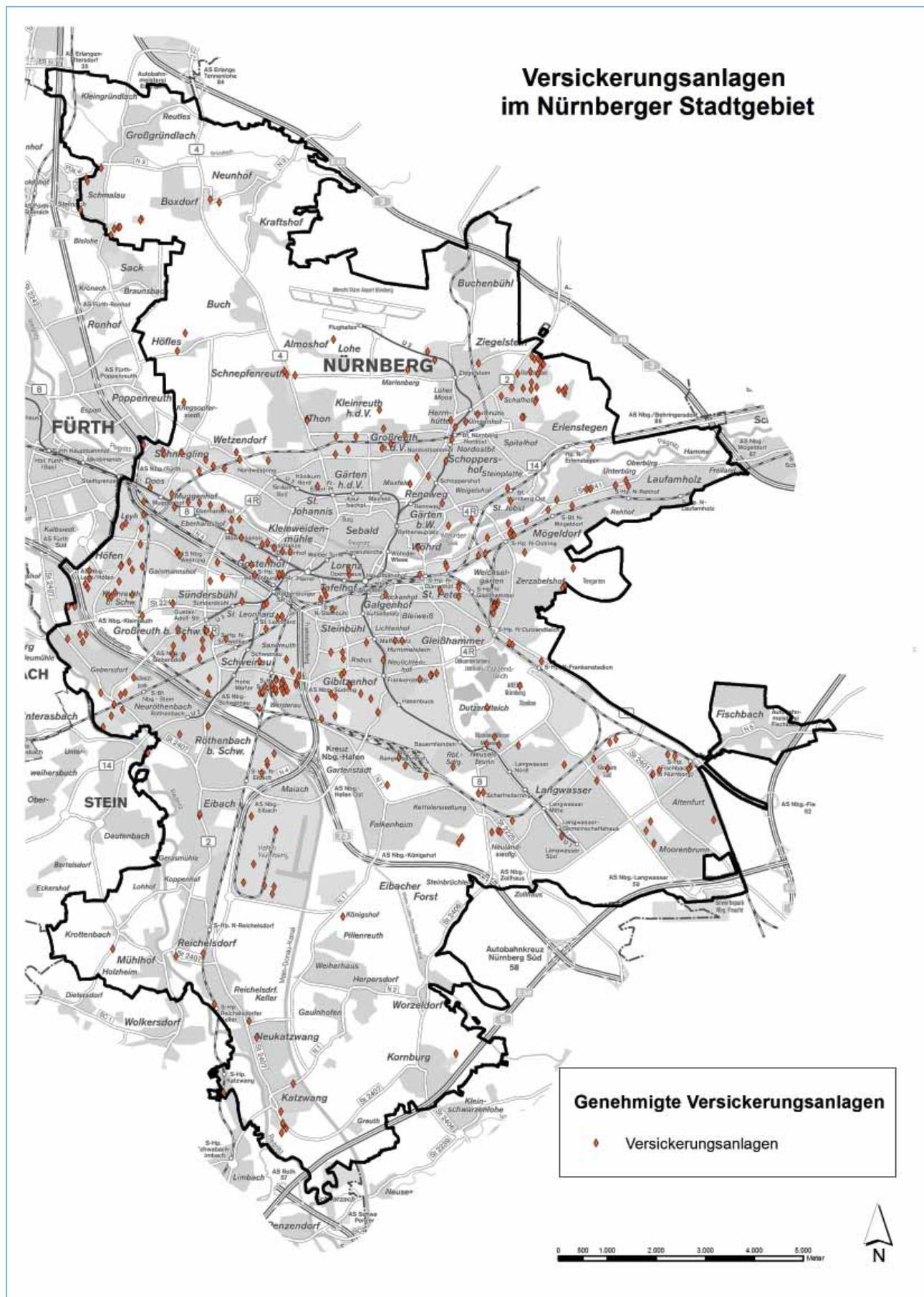
Ferner sind folgende Anforderungen zu beachten:

- Unterirdische Versickerungsanlagen wie Rigolen, Sickerrohre oder -schächte sind nur zulässig, wenn eine flächenhafte Versickerung nicht möglich ist und eine entsprechende Vorreinigung erfolgt.
- Das zu versickernde Niederschlagswasser ist nicht nachteilig verändert oder mit Abwasser oder wassergefährdenden Stoffen vermischt.
- Das zu versickernde Niederschlagswasser stammt nicht von Flächen, auf denen regelmäßig mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird (ausgenommen Kleingebinde bis 20 Liter).

Beim Umweltamt werden seit 1993 Versickerungsanlagen genehmigt. Für das Stadtgebiet von Nürnberg sind ca. 360 solcher Versickerungsanlagen registriert (vgl. Karte 21). Darunter wurden im Zeitraum 2011 – 2016 allein 82 neue Anlagen (23%) genehmigt. Es werden über diese registrierten Versickerungsanlagen Flächen in der Größe von gesamt 1,762 Mio. m² ortsnah, umweltfreundlich und gewässerschonend entwässert. Zahlen für die in Nürnberg v.a. auf Privatflächen errichteten nicht genehmigungspflichtigen Anlagen liegen beim Umweltamt nicht vor, jedoch darf von einer weitaus größeren Gesamtzahl für alle in Nürnberg hergestellten Versickerungsanlagen ausgegangen werden.

Soweit eine Versickerung vor Ort nicht realisierbar ist, soll das Regenwasser in einen natürlichen Vorfluter (Fluss, Bach) eingeleitet werden und damit dem Naturhaushalt erhalten bleiben. Nur wenn Versickerung und Ableitung nicht möglich sind, kann eine Einleitung in die städtische Kanalisation realisiert werden.

Für weitere Informationen bezüglich der Genehmigung von Versickerungsanlagen wird auf die Checklisten für die Einleitung in Gewässer und der Versickerung von Niederschlägen auf der Homepage des Umweltamt Nürnberg verwiesen (<https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/regenwasserbewirtschaftung.html>).



Karte 21: Übersicht der genehmigten Versickerungsanlagen in Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)

5.3.2. Bedeutung und Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens für die Planung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser

Die Kenntnis der Wasserdurchlässigkeit des Sickertraums ist eine qualitative und quantitative Voraussetzung für das Versickern von Niederschlagswasser und ein wesentlicher Faktor für die Planung und Auslegung von Versickerungsanlagen [108].

Die Durchlässigkeit von Lockergesteinen hängt überwiegend von ihrer Korngröße, Kornverteilung, Lagerungsdichte und der Temperatur des Sickerwassers ab. Bei Böden sind zusätzlich das Bodengefüge und die damit verbundene Porosität entscheidend für die Wasserleitfähigkeit. Kenngröße für die Durchlässigkeit ist der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert), der die Wasserleitfähigkeit in der gesättigten Zone in m/s charakterisiert. Bei Lockergesteinen variiert der k_f -Wert in einem weiten Bereich von sehr stark durchlässig ($> 10^{-2}$ m/s) für Grobkies bis sehr schwach durchlässig ($< 10^{-10}$ m/s) für Ton. Der entwässerungstechnisch relevante Versickerungsbereich liegt etwa in einem k_f -Bereich von 10^{-3} bis 10^{-6} m/s [142].

Liegt der spezifische k_f -Wert des Sickertraums über 10^{-3} m/s, sickern Niederschlagsabflüsse mit hoher Geschwindigkeit dem Grundwasser zu. In diesem Fall kann aufgrund der geringen Verweildauer des Niederschlagswassers in der ungesättigten Bodenzone nur eine ungenügende Reinigung durch chemische und biologische Vorgänge erzielt werden, so dass Schadstoffe ungefiltert in den Grundwasserkörper gelangen können.

Bei einem k_f -Wert kleiner 10^{-6} m/s ist die Durchlässigkeit des Sickertraums zu gering, um eine effektive Aufnahme und Ableitung des Niederschlagswassers zu gewährleisten. Es würde zu langen Einstauzeiten in der Versickerungsanlage kommen, die zu anaeroben Verhältnissen in der ungesättigten Bodenzone und einer ungünstigen Beeinflussung des Rückhalte- und Abbauvermögens führen würden.

Die Sickerleistung ist eine wesentliche hydraulische Standorteigenschaft und bedingt die bauliche Gestaltung und Dimensionierung der Versickerungsanlage. Aus diesem Grund kommt der sorgfältigen Bestimmung des k_f -Wertes im Vorfeld der Baumaßnahme eine zentrale Bedeutung zu. Für die Ermittlung des k_f -Wertes gibt es unterschiedliche methodische Ansätze, die sich hinsichtlich Untersuchungsaufwand und Aussagekraft unterscheiden.

Abschätzung der Wasserdurchlässigkeit mit Hilfe der Bodenansprache

Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens kann bereits bei der Probenahme vor Ort anhand der Bodenansprache nach DIN EN ISO 14688-1 [109] überschlägig bestimmt werden. Grundlage dieser Abschätzung liefern Erfahrungswerte für die Wasserdurchlässigkeit von Lockergesteinen (vgl. Abbildung 129). Diese Methode dient im ersten Schritt einer groben Klassifizierung der Wasserdurchlässigkeit in Bezug zur Bodenart, die durch nachfolgende Labor- oder Feldmethoden verifiziert werden sollte. Denn unterschiedliche Verdichtungszustände des gleichen Bodenmaterials, die zu unterschiedlichen Wasserdurchlässigkeiten führen, bleiben bei dieser Methode unberücksichtigt.

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit mit Hilfe von Labormethoden

Zur Orientierung kann der k_f -Wert indirekt aus Kenngrößen der Kornverteilungskurve berechnet oder direkt mit Permeameter nach DIN 18130-1 [110] im Labor bestimmt werden.

Voraussetzung für die Auswertung der Kornverteilungskurve ist die Durchführung einer kombinierten Sieb- / Schlämmanalyse nach DIN 18123 [111] an repräsentativen gestörten Bodenproben.

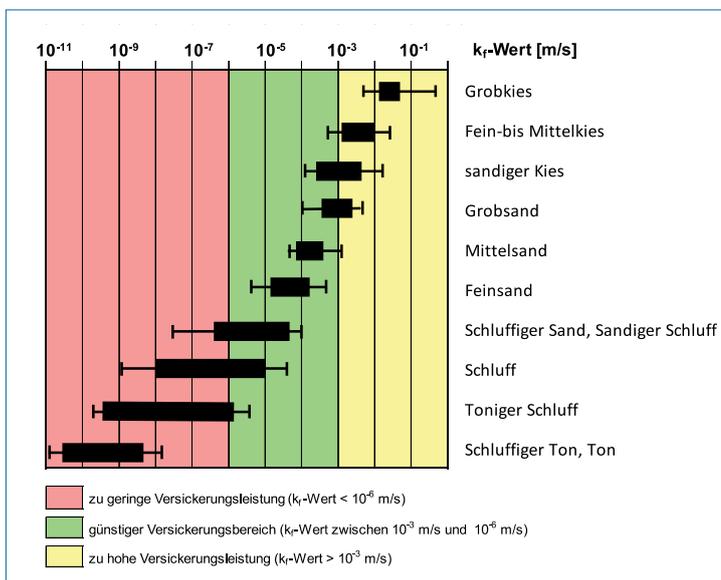


Abbildung 129: Wasserdurchlässigkeit von Lockergesteinen (Quelle: BURDA, J. [145] modifiziert durch Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)

Für die Berechnung des k_f -Werts aus charakteristischen Werten der Kornverteilung stehen in der Literatur unterschiedliche empirische Formeln zur Verfügung (Verfahren nach BEYER (1964) [112], HAZEN (1893) [113] oder ZIESCHANG (1964) [114]). Diese Art der Auswertung lässt den Einfluss des Bodengefüges unberücksichtigt und eignet sich in der Praxis für rollige und grobkörnige Böden, deren Durchlässigkeit vorwiegend von der Korngröße bestimmt wird.

Im Gegensatz dazu werden bei der Permeametermethode sowohl die Einflüsse des Bodengefüges als auch der Lagerungsdichte berücksichtigt. Diese Labormethode erfordert die Entnahme von ungestörten Bodenproben mit Hilfe von Stechzylindern. Grundlage des Verfahrens ist die Messung des Durchflusses von Wasser durch einen Probenkörper nach Anlegen eines konstanten hydraulischen Gefälles unter definierten Bedingungen.

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit mit Hilfe von Feldmethoden

Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit „in situ“ stehen verschiedene Feldmethoden mit unterschiedlichen Versuchsanordnungen und Gerätevarianten zur Verfügung:

- Doppelzylinder-Infiltrometer nach DIN 19682-7 [140]
- Bohrlochmethode nach DIN 19682-8 [141]
- Auffüllversuche in Borlöchern („open-end“-Tests)
- Schürfgrubenversickerung.

Bei allen Feldmethoden wird die Infiltrationsrate selbst gemessen und somit die Einflüsse von Körnung, Bodengefüge und Lagerungsdichte berücksichtigt. Aus diesem Grund kommen Feldversuche den realen Bedingungen bei der Versickerung am nächsten.

Die Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg, Werkbereich Umweltanalytik (SUN/U) bestimmt die Wasserdurchlässigkeit durch tiefenorientierte Versickerungsversuche mit einem Bohrloch-Infiltrometer nach der Well Permeameter Method („open-end“-Test) gemäß Earth Manual (1990) (vgl. Abbildung 130 und 131).

Das erforderliche Bohrloch wird dabei mit einer Rammkernsonde bis in die Tiefe der geplanten Versickerungssole niedergebracht und bei nicht standfesten Böden mit einem Filterrohr ausgebaut. Um bei bindigen Böden ein Verschmieren und Verdichten der Versickerungsfläche zu vermeiden, kann ein nachträgliches Überbohren der Bohrlochwandung mit einem Handbohrgerät erforderlich sein.

Der prinzipielle Versuchsaufbau besteht aus einem in Augenhöhe aufgebauten Wasserbehälter auf einem Stativ, aus dem Wasser über eine Rohrleitung mit Schwimmerventil in das Bohrloch geleitet wird (vgl. Abbildung 131). Das Ventil hat die Aufgabe, den Wasserstand im Bohrloch auf einem eingestellten Niveau zu halten. Somit fließt aus dem Wasserbehälter exakt nur die Menge Wasser in das Bohrloch, die in dem eingestellten Bodenbereich versickert.



Abbildung 130: Durchführung von Versickerungsversuchen mit einem Bohrloch-Infiltrometer durch die Stadtentwässerung und Umweltanalytik (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)

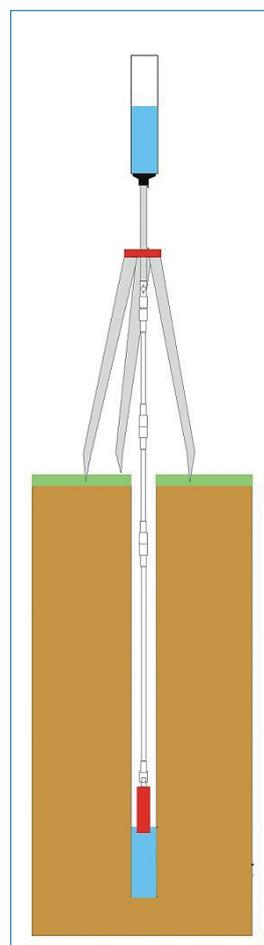


Abbildung 131: Schematischer Aufbau eines Bohrloch-Infiltrometers ohne Filterrohr (Quelle: Betriebsanleitung Permeameter-Infiltrometer, Geotechnisches Büro Heinrich Wiltshut, Lügde (2012) [146])

Nach Erreichen der Wassersättigung kann aus der pro Zeiteinheit infiltrierten Wassermenge (Versickerungsrate) unter Berücksichtigung von Wassertemperatur, Bohrlochgeometrie und Grundwasserstand der k_f -Wert berechnet werden.

Bemessungs- k_f -Wert

Da den verschiedenen Bestimmungsmethoden verfahrensbedingt unterschiedliche Randbedingungen zugrunde liegen, sind die ermittelten Angaben für den Durchlässigkeitsbeiwert untereinander nur schwer vergleichbar. Um vergleichbare und möglichst realitätsnahe Grundlagen für die Bemessung von Versickerungsanlagen zu erhalten, wird ein sog. Bemessungs- k_f -Wert zugrunde gelegt, der sich aus dem experimentell ermittelten k_f -Wert und einem methodenspezifischen empirischen Korrekturfaktor errechnet. Der Korrekturfaktor berücksichtigt dabei die Unsicherheit der verschiedenen Bestimmungsmethoden.

Abschließende Beurteilung der Versickerungsfähigkeit

Für die abschließende Beurteilung der Versickerungsfähigkeit ist neben den verfahrensbedingten Varianzen der Bestimmungsmethoden vor allem die repräsentative Auswahl von Bodenproben und Versuchsstandorten zu beachten, da kleinräumige Inhomogenitäten im Boden (Auffüllungen, Wurzelgänge, Wurm Löcher usw.) einen hohen Einfluss auf die Wasserdurchlässigkeit haben können. Deshalb sind im Beurteilungsgebiet zur Festigung der Aussagekraft unbedingt mehrere Versuche erforderlich.

Ob ein Standort zur Errichtung von Versickerungsanlagen geeignet ist, hängt neben der Versickerungsfähigkeit zudem vom Grundwasserflurabstand ab.

Voraussetzung für eine Versickerung ist ein Abstand zwischen der Sohle der geplanten Versickerungsanlage und der Grundwasseroberfläche von mindestens 1 m. Deshalb ist ergänzend und projektbezogen der voraussichtlich zu erwartende höchste Grundwasserstand (z.B. aus Bohrungen oder aus vorhandenen Grundwassermessstellen in unmittelbarer Umgebung) zu ermitteln (vgl. <https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/regenwasserbewirtschaftung.html>).

Von diesen beiden örtlichen Untergrundvoraussetzungen ist neben der zur Verfügung stehenden Fläche die Wahl der Versickerungsanlage (Mulde, Rigole, etc.) im Wesentlichen abhängig.

5.3.3. Ortsnahe Niederschlagsbeseitigung für Neubaugebiete

Ökologische, wasserwirtschaftliche als auch wirtschaftliche und rechtliche Aspekte erfordern seitens der Stadtverwaltung ein konsequentes Handeln in Bezug auf die Entwässerung von weitgehend unbelastetem Regenwasser.

Niederschlagswasser muss so weit als nur möglich ortsnah im Wasserkreislauf gehalten werden. Andernfalls belastet es das städtische Kanalsystem, mit den Folgen von Überstau bei Starkregen. Es belastet die Kläranlagen und damit die Gewässer. Darüber hinaus wirkt sich die direkte Ableitung über einen Kanal negativ auf das örtliche Kleinklima und die örtliche Grundwassersituation aus.

Die rechtlichen Grundlagen für den Umgang mit dem Niederschlagswasser sind in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) formuliert und mit dem neuen Wasserhaushaltsgesetz (WHG) seit 2010 in nationales Recht umgesetzt. Ortsrechtliche Regelungen zum Vorrang der Versickerung gibt es aufgrund der seit den 90er Jahren erkannten ökologischen Aspekte bereits seit 1992 mit der städtischen Entwässerungssatzung und einen weiteren Anreiz für Grundstückseigentümer mit dem geteilten Gebührenmaßstab seit 2000.

Mit der Bauleitplanung ist es besonders gut möglich, frühzeitig und konsequent Entwässerungskonzepte mit besonderer Berücksichtigung der ortsnahen Beseitigung von Niederschlagswasser zu entwickeln und umzusetzen. Voraussetzungen für erfolgreiche Konzepte sind dabei:

- das frühzeitige Einbinden der Fachdienststellen Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN), Umweltamt (UWA), Service öffentlicher Raum (SÖR) in den Planungsprozess (Planergespräche).
- die Erarbeitung und Zusammenschau aller fachlich relevanten Grundlagen im Planungsbereich (Grundlagenerhebung, Vergabe von Fachgutachten).
- die Ausnutzung von Synergieeffekten insbesondere mit der Grün-, und Freiraum- sowie der Straßenraumplanung (Abstimmungen, Planoptimierung).
- das Einbinden der Entwässerungskonzeptplanung in den Prozessablauf der Bauleitplanung (abgeschichtetes Vorgehen).
- die Sicherung der erforderlichen Flächen und Maßnahmen (Festsetzungen im Bebauungsplan / vertragliche Regelungen z.B. in städtebaulichen Verträgen).
- bei Bedarf die Übernahme von entsprechenden Entwässerungsanlagen durch den städtischen Entwässerungsbetrieb.

Im Oktober / November 2013 beschloss der Umwelt- und der Stadtplanungsausschuss des Nürnberger Stadtrates einstimmig:

1. Die Stadtverwaltung prüft in jedem Bauleitplanverfahren, der eine Neubauplanung vorsieht (einschließlich Konversionsflächen) die Möglichkeiten und die Realisierbarkeit eines nachhaltigen Umgangs mit und einer ortsnahen Beseitigung des anfallenden Niederschlagswassers. Dies erfordert in der Regel die Vergabe von Fachgutachten und die Erstellung eines Niederschlagswasserbeseitigungskonzeptes durch die Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN) bzw. bei vorhabenbezogenen Bebauungsplänen in Abstimmung mit SUN.
2. Die Umsetzung der jeweiligen Konzepte wird konsequent verfolgt.
3. Die Stadtverwaltung berichtet in 5 Jahren über die gesammelten Erfahrungen, die umgesetzten Maßnahmen und den Kosten – und Arbeitsaufwand im Bauleitplanverfahren.
4. Die entsprechenden Planungsmittel werden bis auf weiteres beim Stadtplanungsamt der Stadt Nürnberg (Stpl) aus dem Sachkonto „sonstige Gutachtenkosten“ bereitgestellt und im Rahmen der Haushaltsplanung durch Referat VI/Stpl eingebracht. Ein Vorschlag zur dauerhaften Regelung zur Kostentragung wird durch die Arbeitsgruppe Niederschlagswasser vorgelegt.

Seither wurden für zahlreiche Bebauungspläne Niederschlagswasserbeseitigungskonzepte erstellt.

Der große Vorteil, der sich aus diesem Beschluss grundsätzlich ergibt ist die Möglichkeit, bereits in einer frühen Planungsphase etwaige Konfliktpotentiale (z.B. Bodenbelastungen) zu ermitteln und zu minimieren. Aufgrund der Flächenknappheit im inneren Stadtgebiet sind für ein Entwässerungskonzept flankierende Maßnahmen zur Regenrückhaltung unerlässlich. Dazu zählen zum Beispiel Dachbegrünungsmaßnahmen. Diese ermöglichen es, Teile des Niederschlagswassers bereits vor Ort temporär zurückzuhalten und somit die Gesamtmenge, die eine Versickerungsanlage aufnehmen muss, zu verringern.

Ein positives Beispiel für ein gelungenes Konzept zur Niederschlagswasserbeseitigung ist der Bebauungsplan für das Bauprojekt eines Wohn- und Gewerbezentrum an der Züricher Straße in Großreuth bei Schweinau im Bereich einer zukünftigen U – Bahn Haltestelle der Linie U3 (vgl. Abbildung 132). Dabei wurde ein Konzept erarbeitet, das das gesamte Niederschlagswasser aus dem in Abbildung 132 dargestellten Neubaugebiet und zusätzlich aus dem südlich

5. Grundwasserschutz

gelegenen Baugebiet des ehemaligen ATV-Gelände über Muldenversickerungen in Kaskaden mit einer gesamten Versickerungsfläche von ca. 1,5 ha entwässert.

Dabei wurde von einem Niederschlagsereignis mit 30-minütiger Dauer und einem Gesamtniederschlag von rund 40 mm ausgegangen, also einem extremen Starkregen (100-jähriges Regenereignis).

Der maximale Wasserstand in der Mulde würde hierbei 30 cm betragen und könnte durch die Mulden nach und nach versickern.

Durch die Einbindung dieser Entwässerungsfunktion in ein Freiraumkonzept werden Synergien mit dem Ziel eines attraktiven Wohnumfeldes erreicht.

Eine Bilanzierung der ersten Erfahrung der konsequenten Umsetzung des Umgangs mit Niederschlagswasser und eine Berichterstattung für den Umweltausschuss des Nürnberger Stadtrates ist für 2019 vorgesehen.

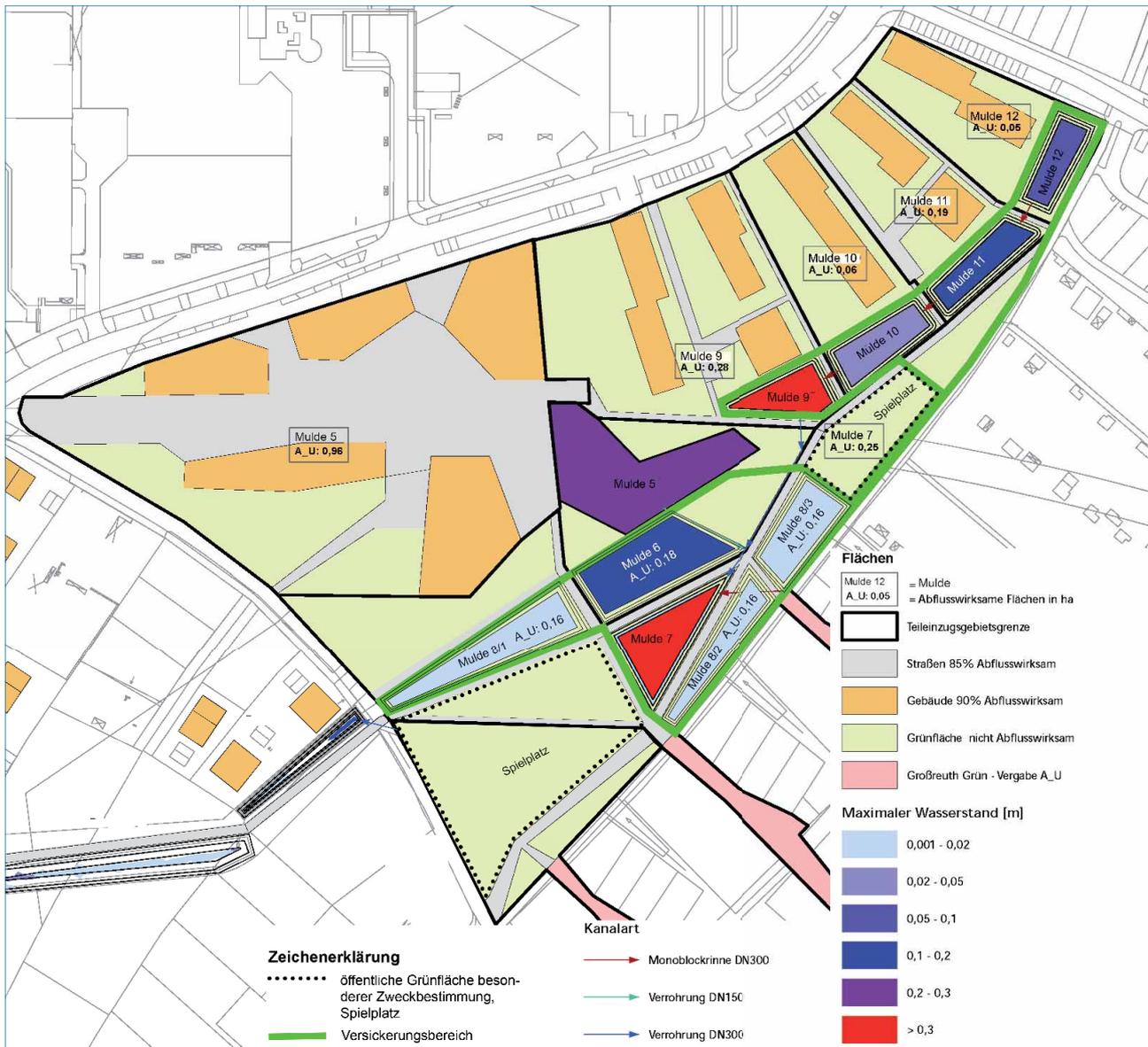


Abbildung 132: Überflutungsplan mit Leistungsnachweis der Überflutungsflächen für Muldenversickerung an Züricher Straße gemäß Überflutungsprüfung nach EULER Typ II, T: 100 a; Dauer: 30 min; Regensumme: ca. 40 mm (Quelle: Adler & Olesch, Nürnberg sowie Ingenieurbüro Miller, Nürnberg)

Anhang I

Weiterführende Informationen im Internet

<http://www.umwelt.nuernberg.de>

Auf der Homepage des Umweltamtes Nürnberg finden sich unter anderem Informationen zur Thematik Boden- und Gewässerschutz und in diesem Rahmen zu Grundwasser, Regenwasser, Geothermie, Gartenbrunnen, Altlasten mit Checklisten zur Einleitung und Versickerung von Niederschlagswasser u.v.m.

https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/grundwasser_messprogramm.html

Auf diesen, für das Grundwassermessprogramm gestalteten Seiten des Umweltamtes der Stadt Nürnberg finden sich die Ergebnisse der Stichtagsmessungen am Grundwassermessnetz vom Frühjahr und Herbst 2010 und Herbst 2016 (als Karte mit den Messstellen und in einer Tabelle Angaben der gemessenen Grundwasserflurabstände und Grundwasserstände in Meter über Meereshöhe).

<http://www.umweltatlas.bayern.de>

Der Umweltatlas des Bayerischen Landesamtes für Umwelt enthält Kartendarstellungen zu diversen Geowissenschaftlichen Fachgebieten, u.a. Geologie, Hydrogeologie, Bodenkunde, Bohrungs- und Aufschlussdaten. In der Kartenanwendung „Geologie“ sind unter dem Layer „Bohrungen- und Quellen“ Erstinformationen zu Grundwassermessstellen auch im Nürnberger Stadtgebiet zu finden.

Unter der Kartenanwendung „Angewandte Geologie“ findet sich die Standortauskunft für oberflächennahe Geothermie.

<http://www.lfu.bayern.de>

Das Bayerische Landesamt für Umwelt hält unter anderem Informationen zur Grundwasserneubildung und zum Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ sowie einer Vielzahl weiterer umweltrelevanter Themen bereit.

Die Informationsbroschüre „Oberflächennahe Geothermie“ und der „Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern“ sind zu finden unter http://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/geothermie_oberflaechennah/index.htm/ und können bestellt werden unter: <http://www.bestellen.bayern.de>.

<http://www.bgr.bund.de>

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe bietet Informationen zum Thema Grundwasser und etlichen weiteren Geowissenschaftlichen Themenbereichen.

<http://www.wwa-n.bayern.de>

Das staatliche Wasserwirtschaftsamt Nürnberg bietet Informationen zu Grundwasser, Trinkwasser sowie Wasser im Allgemeinen.

<http://www.inka.bayern.de>

Der Indikatorenkatalog Bayern beruht auf Daten des Statistischen Landesamtes von Bayern und bietet die Möglichkeit raumrelevante Bestandszahlen und Indikatoren für beliebige Gemeinden in Bayern auszugeben.

<http://www.hnd.bayern.de>

„hnd“ steht für den Hochwassernachrichtendienst des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, der v.a. die tagesaktuellen Pegelstände der Gewässer veröffentlicht sowie über aktuelle und historische Hochwässer und Überschwemmungen informiert und vor bevorstehendem Hochwasser warnt.

<http://www.n-ergie.de/N-ERGIE/wasser-74.html>

Die N-Ergie AG hält auf ihrer Homepage u.a. Informationen rund um das Thema Trinkwasser, Trinkwasserversorgung in Nürnberg und zur Wasserqualität bereit.

<http://wv-knoblachland.de>

Der Wasserverband Knoblachland informiert über die Bewässerung im Knoblachland.

<http://www.dwd.de>

Der Deutsche Wetterdienst informiert über die wesentlichen Belange der Thematik Klima und stellt eine Vielzahl an Klimadaten zur Verfügung.

<http://www.wettergefahren.de>

Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Der Deutsche Wetterdienst überprüft täglich die aktuelle Wettersituation und informiert aktuell über Hitze警告ungen. Die Informationen werden auch als Newsletter und in einer APP bereitgestellt.

<http://www.naturgefahren.bayern.de>

Hier werden alle für Bayern relevanten Warn- und Informationsdienste über Naturgefahren durch die bayerische Staatsregierung zusammen- und vorgestellt.

https://www.nuernberg.de/internet/gesundheitsamt/klima_hitze.html

Ratgeber für den Sommer: Das Gesundheitsamt und das Umweltamt der Stadt Nürnberg haben einen Ratgeber zu den gesundheitlichen Gefahren durch Hitze veröffentlicht.

https://www.nuernberg.de/imperia/md/klimaschutz/dokumente/klimafahrplan2014_gesamt.pdf

Klimafahrplan Nürnberg 2010 – 2050

Der aktuelle Klimafahrplan der Stadt Nürnberg enthält erstmals die beiden Säulen Klimaschutz und Klimaanpassung.

https://www.nuernberg.de/imperia/md/klimaanpassung/dokumente/klimaanpassung_handbuch_low.pdf

Handbuch Klimaanpassung

Das Umweltamt hat die Ergebnisse des Forschungsprojektes „Urbane Strategien zum Klimawandel veröffentlicht.

<https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/publikationen.html#34>

Stadtklimagutachten

Es beinhaltet eine Klimaanalyse für das Stadtgebiet Nürnberg und enthält eine Planungshinweiskarte

<http://www.lfu.bayern.de/natur/sap/arteninformationen/steckbrief>

das Bayerische Landesamt für Umwelt informiert auf dieser Homepage unter der Rubrik „Arteninformationen“ über zahlreiche geschützte Tierarten, u.a. den Biber.

<https://www.bund-naturschutz.de/tiere-in-bayern/saeugetiere/biber/bibermanagement.html>

Der BUND Naturschutz in Bayern e.V. informiert auf dieser Internet-Seite über das Bibermanagement.

<https://difu.de/sites/difu.de/files/archiv/publikationen/reihen/kommunaler%20klimaschutz/praxisratgeber-klimagerechtes-bauen.pdf>

Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen - Mehr Sicherheit und Wohnqualität bei Neubau und Sanierung (2017)

Im Auftrag der Schwäbisch Hall-Stiftung bauen-wohnen-leben und unter der Schirmherrschaft des Deutschen Städtetages wurde dieser Ratgeber vom Deutschen Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) herausgegeben. Hier werden mögliche Maßnahmen für Gebäude und Grundstücke im Hinblick auf den Klimaschutz und vor allem auch Maßnahmen zum Schutz vor den Klimafolgen von Starkregen und Hochwasser, Hitze, Stürme und Hagel vorgestellt.

<https://www.steb-koeln.de>

Wassersensibel planen und bauen in Köln -

Leitfaden zur Starkregenvorsorge für Hauseigentümer, Bauwillige und Architekten, Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2016).

Anhang II

Glossar

Abteufen

Einen senkrechten Hohlraum (Schacht oder Bohrloch) von oben nach unten herstellen.

Abundanz

Anzahl von Organismen pro Flächen- oder Raumeinheit

Adsorption

Anlagerung eines Stoffes aus einer Gas- oder Flüssigphase an die Oberfläche eines Festkörpers (Adsorbens).

äolisch

vom Wind verursacht.

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.

Arkosen

Sandsteine, die neben Quarzkörnern als Hauptbestandteile über 25 % Feldspatkörner enthalten, meist unter ariden Klimabedingungen von Flüssen in der Nähe ihrer, aus Gneisen und Graniten bestehenden Liefergebiete abgelagert. Das Auftreten der relativ verwitterungsanfälligen Feldspäte lässt auf nur kurze Transportwege schließen.

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

diskordant

winklig aneinanderstoßend; v.a. bei sedimentären Gesteinsschichten; bei einer diskordanten Überlagerung weisen die Schichten in ihrer Lagerung unterschiedliche Neigungen auf.

Drainagen

technische Anlagen zur Fassung und Ableitung von Wasser, um der Vernässung von Bauwerken und landwirtschaftlichen Flächen entgegenzuwirken.

Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert)

Ein Maß für die Wasserwegsamkeit eines Bodens oder Gesteins, also die Durchlässigkeit für Wasser.

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 Kleintieren und Tieren die Lebensgrundlage entziehen.

EU-WRRL

siehe Wasserrahmenrichtlinie

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 textuellen 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.

Gley

ein vom Grundwasser beeinflusster Boden.

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.).

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.

Grundwasserdeckschicht

(auch Grundwasserüberdeckung) Boden- und Gesteinsschichten oberhalb des Grundwasserspiegels.

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“).

Horizontierung

Ausprägung eines Bodenprofils dessen Lagen unterschiedlicher Bodeneigenschaften sich horizontal voneinander abgrenzen lassen.

Hydrogeologie

Wissenschaft vom Wasser in der Erdkruste, den geologischen Eigenschaften der Gesteine in Hinblick auf ihre Leit- und Speichereigenschaften für Grundwasser und andere 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.

Klimatopwert

Klimawirksamkeit der urbanen Oberfläche

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.

Konglomerat

aus Geröllen bestehendes, durch kalkige oder kieselige oder tonige u. a. Bindemittel verkittetes Sedimentgestein.

Kolmation

Prozess des Eintrags und der Ablagerung von Feinmaterialien in das Lückensystem eines porösen Materials - hier in den Porenraum des Bodens, mit der Folge einer Verringerung der Durchlässigkeit des Bodengerüsts.

Kontamination

Verunreinigung des Bodens oder des Grundwassers mit Schadstoffen.

LCKW

Leichtflüchtige Chlorierte Kohlenwasserstoffe oder Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe; eine Schadstoffgruppe aus der Gruppe der LHKW.

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.

Mäander

Flusstyp bei der ein Fluss durch geringe Bewegungsenergie viele Schleifen bildet (z.B. Mosel).

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.

Metabolite

Abbauprodukte von chemischen Verbindungen

Minimata-Konvention

Quecksilber-Konvention der Vereinten Nationen

Mitigation

Abschwächung, Milderung

MKW

Mineralölkohlenwasserstoffe (z.B. Benzin, Diesel)

Monitoring

Dauerhafte Überwachung nach einem festgelegten Programm.

Muschelkalk

Geologische Einheit der Trias

Nitrat

Stickstoffverbindung, die durch die Oxidation stickstoffhaltiger Düngemittel und Stickstoffdepositionen aus der Luft entsteht.

Nutzwasser

Wasser, das nicht zum Trinken, aber zu anderen Zwecken gewonnen bzw. genutzt wird.

Ökokonto

In einem Ökokonto werden Flächen und Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung bevorratet, die bei künftigen Eingriffen in Natur und Landschaft (z.B. Bauvorhaben) als Kompensationsmaßnahmen herangezogen werden können.

PAK

Abkürzung für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (z.B. Benzo(a)pyren). Entstehen generell bei Verbrennungsprozessen.

Paläotäler

Überreste alter Flussverläufe, heute mit Lockersedimenten verfüllt.

Persistenz

Eigenschaft von Stoffen, unverändert durch physikalische, 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 – auch bekannt als PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen); eine Untergruppe sind die PFT (perfluorierte Tenside); Hauptvertreter ist PFOS. PFC 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). PFC sind kaum abbaubar und verbleiben daher für einen sehr langen Zeitraum in der Umwelt.

PFOS

siehe PFC

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

polyvalent

in mehrfacher Beziehung wirksam.

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.

Quacken

Im fränkischen Sprachgebrauch benannte Gesteine, die überwiegend aus sehr harten, dolomitisch und kalkig gebundenen Arkose-Sandsteinen bestehen; vorwiegend im Bereich der tonigen Fazies des Blasen- und Stubensandsteins und – etwas seltener – im Unteren Burgsandstein anzutreffen. Bei Tiefbauarbeiten bereiten sie große Schwierigkeiten, bei Bohrungen und Tunnelbauten verursachen sie einen hohen Materialverschleiß.

Quelle

Natürlicher, an einer bestimmten, örtlich begrenzten Stelle nicht nur vorübergehend erfolgreicher Austritt von Grundwasser.

Redoxpotential

Elektrische Spannung, die bei einer Redoxreaktion auftritt. Es ist ein Maß für die oxidierende bzw. reduzierende Kraft dieser Relation.

Redoxsystem

Ein aus einem Oxidations- und einem Reduktionsmittel bestehendes System von Reaktionspartnern, in dem das Reduktionsmittel Elektronen an das Oxidationsmittel abgibt.

Renaturierung

Maßnahmen zur Restaurierung von Brachland in Naturflächen.

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).

Schilfsandstein:

Einheit des Gipskeupers

Schluff

Kornfraktion mit einem Korndurchmesser von 0,002 bis 0,063 mm.

Sonderkultur

Landwirtschaftlich angebaute Kulturpflanzen, deren Anbau nicht überall möglich ist bzw. deren Produktion sehr arbeits- und kostenintensiv ist.

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)

stomatär

mit den Stomata (speziell regulierbare Öffnungen in der Blattunterfläche; Spaltöffnungen) zusammenhängend.

synsedimentär

Vorgänge (meist tektonische Vorgänge), die zeitgleich mit der Ablagerung eines Sediments ablaufen.

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.

Transmissivität

Durchlässigkeit eines gesamten Aquifers.

Trias

Erdzeitalter zwischen 250 und 205 Millionen Jahren vor unserer Zeit, bestehend aus den Abschnitten Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper.

Triazole

Als Triazole werden heterocyclische aromatische Verbindungen mit der Formel $C_2H_3N_3$ bezeichnet, welche einen fünfatomigen Ring mit zwei Kohlenstoff- und drei Stickstoff-Atomen bilden.

Trinkwasser

Wasser, das als Lebensmittel für den Menschen verwendet wird.

Trockenheitsindex

Er beschreibt den Zeitraum, in dem der mittlere Füllungszustand des Bodenwasserspeichers einen definierten Grenzwert unterschreitet und ist damit ein Indikator für die Wasserverfügbarkeit im Boden. Es handelt sich dabei um Zeiträume, in denen die Vegetation unter Trockenstress steht, mit der Folge eines deutlich erhöhten anthropogenen Wasserverbrauchs für Landwirtschaft und öffentliche Wasserversorgung.

Tübbing

Bauteile für Versteifungen im Tunnelbau, meist vorgefertigte Betonsegmente.

TVO

Trinkwasserverordnung

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, Entnahgebauwerke, 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.

WETTREG

statistisches Verfahren zur Errechnung von Klimavariablen (WETTerlagen-basierte REGionalisierungsmethode); dabei werden Beziehungen zwischen atmosphärischen Größen in den globalen Zukunftsprojektionen und den lokalen Parametern ermittelt. Dieser Zusammenhang lässt sich auf einzelne Stationen anwenden. Das Modell WETTREG (WETTREG2006 und WETTREG2010) wird von den Klimaforschern als am ehesten überzeugend eingeschätzt; KLIWA stützt sich bei der Bayerischen Klima-Anpassungsstrategie [25] vorwiegend auf diese Ergebnisse [128] und [24].

WWA

Staatliches Wasserwirtschaftsamt Nürnberg

Zechstein

Geologische Einheit des Perm (Erdzeitalter zwischen 300 und 250 Mio. Jahre vor unserer Zeitrechnung).

Anhang III

Abbildungsverzeichnis mit Quellenangabe

	Seite
Vorwort	3
Abbildung 1:	10
Abbildung 2:	10
Abbildung 3:	10
Abbildung 4:	10
Abbildung 5:	12
Abbildung 6:	13
Abbildung 7:	13
Abbildung 8:	13
Abbildung 9:	14
Abbildung 10:	15
Abbildung 11:	15
Abbildung 12:	16
Abbildung 13:	19
Abbildung 14:	23
Abbildung 15:	23
Abbildung 16:	23
Abbildung 17:	24
Abbildung 18:	25
Abbildung 19:	25
Abbildung 20:	26
Abbildung 21:	27
Abbildung 22:	33
Abbildung 23:	33
Abbildung 24:	33
Abbildung 25:	34

	Seite
Abbildung 26: Bohrprofil eines Brunnens (Quelle: Weikert Brunnenbau)	34
Abbildung 27: Brunnenvorschacht vor und nach dem Einbau (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)	35
Abbildung 28: Systembild - Prozessleitsystem (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)	35
Abbildung 29: Schaltanlage mit Frequenzumrichter (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)	36
Abbildung 30: Ansicht Hochbehälter Buch (Quelle: Wasserverband Knoblauchsland)	36
Abbildung 31: Schematisches petrographisches und hydrologisches Schichtenprofil des Deckgebirges im Bereich der Altstadt von Nürnberg. Verändert nach BAIER et al. (2016) (Quelle: BAIER [56])	38
Abbildung 32: Typischer Muschelkalk-Aquifer: Starker Wasseraustritt aus verkarsteter Störungsfläche mit Kluftfüllung; Norbertusheim-Stollen der Trinkwasserversorgung Würzburg (Foto: BAIER; GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)	39
Abbildung 33: Toniger Blasensandstein bei Seitendorf (Foto: BAIER; GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)	40
Abbildung 34: Unterer Burgsandstein mit Lettenlagen. Baugrube des Delfinariums im Tiergarten zu Nürnberg. (Foto: BAIER; GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)	40
Abbildung 35: Charakteristische Letten-Zwischenlagen im Oberen Burgsandstein. Steinbruch am Worzeldorfer Berg (Südlicher Nürnberger Reichswald). (Foto: BAIER; GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)	41
Abbildung 36: Durchführung Pumpversuch mit messtechnischer Ausstattung (Foto: TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH)	43
Abbildung 37: Offenes Kluftsystem mit Wasseraustritten an der Schichtgrenze Blasensandstein/Lehrbergsschichten (IMAX-Baugrube, Nürnberg, 2000; (Foto: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)	44
Abbildung 38: Wasserzutritt über „Quacken“horizont aus Klüften im Blasensandstein (U-Bahnbau Nürnberg / bergmännischer Vortrieb) (Foto: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg)	43
Abbildung 39: Düne im nordöstlichen Stadtgebiet (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	45
Abbildung 40: Profil über das Paläotal 1 (Quelle: GeoZentrum Nordbayern der FAU Erlangen-Nürnberg - WEHRL, M.)	45
Abbildung 41: Ausgewertetes Georadarprofil im Fassungsgebiet des Wasserschutzgebiet Erlenstegen mit Interpretation der quartären Aquiferbasis (Quelle: N-ERGIE AG - GOODWYN, P.)	47
Abbildung 42: Visualisierung der Aquiferbasishöhe im Fassungsgebiet des Wasserschutzgebietes Erlenstegen mit eingezeichnetem Rinnentief (Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung; Wasserdaten: © N-ERGIE Aktiengesellschaft; Quelle: GOODWYN, P.)	48
Abbildung 43: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen im Stadtgebiet Nürnberg; Auswertung der statistischen Jahrbücher der Stadt Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	49
Abbildung 44: Niederschläge in hydrogeologischen Sommer- und Winterhalbjahren seit 1981 an der Flugwetterwarte Nürnberg (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst (DWD); Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	50
Abbildung 45: Vereinfachtes Modell des Wasserhaushalts (Quelle: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Wassertechnologie, KOLB, F. R.)	51
Abbildung 46: Mittlere Oberflächenabflussbeiwerte (Zahlenwert) und prozentuale Flächenverteilung nach Nutzungsarten für das Stadtgebiet Nürnberg (berechnet auf Datenbasis von: BEYER, 2015 [86], modifiziert).	52
Abbildung 47: September 1988: Spänelager im Freien ohne Untergrundabdichtung (Foto: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	53
Abbildung 48: Ausschnitt aus der Grundwasserbelastungskarte (Anlage D) (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	55
Abbildung 49: Anzahl Grundstücke mit Altlastenerkundungen und mit Grundwassersanierungen im Stadtgebiet von Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	55
Abbildung 50: Verteilung der Hauptschadstoffe im Grundwasser an 122 gering belasteten Standorten im Stadtgebiet von Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	55
Abbildung 51: Grundwassersanierungen im Stadtgebiet von Nürnberg - beteiligte Hauptschadstoffe (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	55
Abbildung 52: Umweltrelevante Grundwasserbelastungen bei Bauwasserhaltungen; Maßnahmen erforderlich (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	56

	Seite
Abbildung 53: Prozentuale Verteilung LHKW-belasteter Brunnen des Qualitätsmessnetzes (Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)	58
Abbildung 54: Prozentuale Verteilung von Nitratgehalten in Brunnen des Qualitätsmessnetzes (hier: einschließlich 12 Brunnen aus Nitrat-Messsnetz des Wasserwirtschaftsamtes) (Quelle: Umweltamt der Stadt Nürnberg)	64
Abbildung 55: Prozentuale Verteilung der Summehalte von Pflanzenschutzmitteln in Brunnen des Qualitätsmessnetzes (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	65
Abbildung 56: Prozentuale Verteilung von Chloridgehalten in Brunnen des Qualitätsmessnetzes (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	70
Abbildung 57: Chemischer Zustand des Grundwassers (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	76
Abbildung 58: Chemischer Zustand des Grundwassers bezüglich Nitrat (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	77
Abbildung 59: Chemischer Zustand des Grundwassers bezüglich Pflanzenschutzmittel (PSM) (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	77
Abbildung 60: Chemischer Zustand der Fließgewässer (ohne ubiquitäre Stoffen) (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	78
Abbildung 61: Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Knoblauchsland von 1984 -2016 (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	81
Abbildung 62: Veränderungen der Nitratkonzentrationen an Messstellen im Knoblauchsland (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	82
Abbildung 63: Entwicklung Nitratkonzentration in Buch (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	82
Abbildung 64: Pump Box (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)	85
Abbildung 65: Einsatz der Pumpbox bei einem Immissions-Pumpversuch (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)	85
Abbildung 66: Messgerät (GC/MSD) zur Bestimmung von Chlorphenolen (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)	86
Abbildung 67: Messgerät (CFA) zur Bestimmung von Cyaniden und Phenolindex. (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)	86
Abbildung 68: Klimatische Ausgangslage für die Stichtagsmessungen im Herbst 2010 und Herbst 2016; Niederschlagsverteilung der Vormonate von Mai bis September Auswertung auf Datengrundlagen des DWD – Niederschlagsdaten an der Flugwetterwarte Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	89
Abbildung 69: Ganglinie einer Messstelle an der Südwesttangente, Nähe Eibacher Forst (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	92
Abbildung 70: Ganglinie einer Messstelle am Rangierbahnhof (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	93
Abbildung 71: Ganglinie mit Bauwasserhaltung im Bereich Köhnstraße (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	93
Abbildung 72: Für niederschlagsarme und -reiche Perioden gemittelte Grundwasserstände an Notbrunnen (Niederschlagswerte ermittelt auf Basis der Datengrundlagen des Deutschen Wetterdienstes ; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	94
Abbildung 73: Grundwasserstandsänderungen im Knoblauchsland (Auswertung der linearen Trends von 2004 - 2016 - Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	97
Abbildung 74: Grundwasserganglinien von Wasserverbandsbrunnen (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	97
Abbildung 75: Grundwassertemperatur in Nürnberg 2 m unter Grundwasseroberfläche (Kartengrundlage: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de; Quelle: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, GeoZentrum Nordbayern; RAMMLER, M.)	99
Abbildung 76: Wärmequellen für das Grundwasser in Nürnberg; Darstellung angelehnt an Abbildungen von MENBERG et al. (2013) [95] (Quelle: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, GeoZentrum Nordbayern; RAMMLER M.)	100
Abbildung 77: Ganglinie für die Grundwassertemperatur an einer Messstelle in Ziegelstein in einer Messtiefe von 8 m (Daten der Lufttemperatur an der Flugwetterwarte vom Deutschen Wetterdienst, DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	101
Abbildung 78: Ganglinie für die Grundwassertemperatur an einer Messstelle nördlich des Eibacher Forstes, in einer Messtiefe von 14 m; (Daten der Lufttemperatur an der Flugwetterwarte vom Deutschen Wetterdienst, DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	102

	Seite
Abbildung 79: Ganglinie für die Grundwassertemperatur und der Lufttemperatur an einer Messstelle in Kleinreuth h.d.Veste, in einer Messtiefe von 25 m; (Daten der Lufttemperatur an der Flugwetterwarte vom Deutschen Wetterdienst, DWD; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	102
Abbildung 80: Herstellung einer Erdwärmesondenanlage im Gewerbebau (Quelle: Baugrund Süd Gesellschaft für Geothermie mbH)	105
Abbildung 81: Durchführung einer Brunnenbohrung im Wohnungsbau (Quelle: Baugrund Süd Gesellschaft für Geothermie mbH)	105
Abbildung 82: Anzahl genehmigter Grundwasser-Wärmepumpenanlagen (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt) . . .	106
Abbildung 83: Anzahl der errichteten Erdwärmesondenanlagen im Nürnberger Stadtgebiet (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	106
Abbildung 84: Anzahl von Bohrungen/Sonden bei privaten Erdwärmesondenanlagen und bei Sondenfeldern (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	107
Abbildung 85: Überblick über die erzeugte Heizleistung bei Erdwärmesondenanlagen laut Genehmigungsunterlagen – Gesamtleistung der je Jahr genehmigten Anlagen (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	107
Abbildung 86: Grundwassertemperatur der Stadt Nürnberg im April 10 Meter unter Geländeoberkante (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	109
Abbildung 87: Grundwassertemperatur in Nürnberg im Juli in 10 Meter unter Geländeoberkante (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	110
Abbildung 88: Temperaturdifferenz in Nürnberg zwischen Juli und April in 10 m unter Gelände (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	110
Abbildung 89: Lage der beispielhaften potentiellen Messstellen im Stadtgebiet (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	111
Abbildung 90: Geologisches Bohrprofil der Grundwassermessstelle 9-1224 mit den Flurabständen vom April 2015 (blau) und dem April 2017 (rot), Datengrundlage Stadt Nürnberg, Umweltamt, Flurabstände von BATZ, 2015 [143] und WILLACKER 2017 [117] (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	112
Abbildung 91: Temperaturkurven der Messstelle 9-1224 aus April 2015 und April 2017 (Daten von BATZ 2015 [143] und WILLACKER, 2017 [117] (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	112
Abbildung 92: Temperaturverlauf von April bis Juli 2015 (Daten von BATZ, 2015 [143]) mit Monatsmitteln der Lufttemperatur [144] (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	112
Abbildung 93: Geologisches Blockbild der Grundwassermessstelle 9-430 mit den Flurabständen aus dem April 2015 (blau) und dem Juli 2015 (rot), Daten von MARLIN [97] und dem Umweltamt Nürnberg (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	113
Abbildung 94: Temperaturverlauf in der Grundwassermessstelle von April bis Juli 2015 (Daten von MARLIN 2015 [97] und DWD [144]; Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	114
Abbildung 95: Geologisches Blockbild der Grundwassermessstelle 9-63 mit den Flurabständen aus dem April 2016 (blau) und dem April 2017 (rot) mit Daten vom Umweltamt Nürnberg und Flurabständen von RAMMLER, 2016 [119] und KRANZ, 2017 [123] (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	114
Abbildung 96: Vergleich der Temperaturkurven vom April 2016 und April 2017 mit Daten von RAMMLER 2016 [119] und KRANZ, 2017 [123] (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	115
Abbildung 97: Temperaturverlauf von April bis Juli 2016 mit Daten von RAMMLER, 2016 [119] und Monatsmitteln DWD [144] (Quelle: GeoZentrum Nordbayern; WEHRL, M.)	115
Abbildung 98: Gründungselemente mit zusätzlicher energetischer Nutzung des Untergrunds über Wärmetauscher (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt)	117
Abbildung 99: Regelmäßige Informationen zur Grundwassersituation - die Grundwasserberichte der Stadt Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Referat für Umwelt und Gesundheit)	119
Abbildung 100: Gemüseanbaugelände Knoblauchsland (Quelle: Stadt Nürnberg, Presseamt)	120
Abbildung 101: Schematische Darstellung der N_{min} -Gehalte mit der Bodentiefe im Jahresablauf (Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau)	120
Abbildung 102: Ökolandbau - weniger Schadstoffe ins Grundwasser und ein Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	122

	Seite
Abbildung 103: Ermittlung und Überprüfung der pot. LCKW-Schadensherde auf einem Grundstück (Quelle: Abbildung aus unveröffentlichtem Gutachten: Geowissenschaftliches Büro Diplomgeologe Stefan Seitz (GBS); Oktober 2010 [137]; Tabelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	123
Abbildung 104: LCKW - Grundwasser-Sanierungsfall im südlichen Stadtgebiet (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt) .	124
Abbildung 105: Entwicklung aller in Nürnberg durchgeführter Grundwasser-Sanierungen von 2008 bis 2016 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	125
Abbildung 106: PFC-Schadensherde am Flughafen Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	127
Abbildung 107: PFC-Schadstofffahne im Grundwasser (Quelle: GIBS geologen+ingenieure GmbH & Co. KG)	128
Abbildung 108: Feuchtbiotop Ziegellach – Grabensystem (Quelle: GIBS geologen+ingenieure GmbH & Co. KG)	129
Abbildung 109: Löschbecken West – Pilotversuch Bodenaustausch (Quelle: albuCon GmbH)	130
Abbildung 110: Sicherungs- und Sanierungskonzept (Quelle: GIBS geologen+ingenieure GmbH & Co. KG)	130
Abbildung 111: Arsen-Schadstofffahne im nordwestlichen Randbereich der Altdeponie Buchenbühl (Quelle: GIBS geologen + ingenieure GmbH & Co. KG)	132
Abbildung 112: Altdeponie Silberbuck um 1950 (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtarchiv A38 Nr. SP-299)	133
Abbildung 113: Silbersee – Hinweisschild zum Schwimmverbot (Quelle: Stadt Nürnberg, Servicebetrieb Öffentlicher Raum, SÖR)	133
Abbildung 114: Geländeumgriff Baumaßnahme Messe Nordumfahrung (Quelle: CDM Smith Consult GmbH)	133
Abbildung 115: AEG-Nordareal – Altdeponie Fuchsloch (Quelle: LGA IUA GmbH)	134
Abbildung 116: Übersicht über die räumlichen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes mit Darstellung der Morphologie der Quartären Rinne (Höhenlinien der Quartärbasis) sowie vorhandener Grundwassermessstellen (Quelle: R&H Umwelt GmbH)	135
Abbildung 117: Geologischer Schnitt von NW nach SO; vom Industriegebiet Gibitzenhof westlich Hasenbuck bis zum östlichen Grundstücksbereich des Rangierbahnhofs (Quelle: R&H Umwelt GmbH)	136
Abbildung 118: Messstellen und Sanierungspegel im Bereich des Ausbesserungswerkes (AW) (Quelle: R&H Umwelt GmbH)	136
Abbildung 119: Karte Prognoseberechnung 2: Entnahme von je 4,5 l/s aus den Brunnen AW16 / progn. Brunnen mit Wiedereinleitung in die quartäre Rinne (Quelle: R&H Umwelt GmbH)	138
Abbildung 120: Aktivkohle-Reinigungsanlage einer Bodenluftabsaugung eines Anlagenscontainers (Quelle Stadt Nürnberg Umweltamt)	139
Abbildung 121: Überblick Altlastenbearbeitung bei chemischen Reinigungen in den Jahren 1987 - 2016 (Untersuchungs- und Sanierungsbeginn); (Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)	140
Abbildung 122: Überblick über Auskünfte aus der Altlastendatenbank (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	144
Abbildung 123: Sanierungsanlage neben Lebensmitteldiscounter (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	145
Abbildung 124: Sanierungscontainer auf dem Gelände eines Baumarktes (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	145
Abbildung 125: Sanierungsarbeiten auf einem ehem. Tankstellenstandort (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	145
Abbildung 126: Wohnbebauung nach Sanierung (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	146
Abbildung 127: Wasser in der Baugrube (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	149
Abbildung 128: Muldenversickerung in Großreuth b. Schweinau (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	150
Abbildung 129: Wasserdurchlässigkeit von Lockergesteinen (Quelle: BURDA J. [145] modifiziert durch Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)	152
Abbildung 130: Durchführung von Versickerungsversuchen mit einem Bohrloch-Infiltrometer durch die Stadtentwässerung und Umweltanalytik (Quelle: Stadt Nürnberg, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg)	153
Abbildung 131: Schematischer Aufbau eines Bohrloch-Infiltrometers ohne Filterrohr (Quelle: Betriebsanleitung Permeameter-Infiltrometer, Geotechnisches Büro Heinrich Wiltschut, Lüdge (2012) [146])	153
Abbildung 132: Überflutungsplan mit Leistungsnachweis der Überflutungsflächen für Muldenversickerung an Züricher Straße gemäß Überflutungsprüfung nach EULER Typ II, (Quelle: Adler & Olesch und Ingenieurbüro Miller)	156

Anhang IV

Kartenverzeichnis

	Seite
Karte 1: Verteilung der Brunnen im Stadtgebiet Nürnberg (Stand 2016; Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt) . . .	29
Karte 2: Verteilung der Entnahmekontingente im Stadtgebiet (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	31
Karte 3: Karte der Paläotäler unter Nürnberg nach BAIER (2011) mit eingezeichneter Profillinie (rot) (Quelle: BAIER, A.; Verändert von WEHRL, M.)	45
Karte 4: LHKW-Belastungen in Brunnen und Messstellen des Grundwassermonitoringprogrammes im Zeitraum 2005- 2010 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	60
Karte 5: LHKW-Belastungen in Brunnen und Messstellen des Grundwassermonitoringprogrammes im Zeitraum 2011- 2016 (Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)	61
Karte 4a: Interpolierte Schwerpunktbereiche mit LHKW-Belastungen im Zeitraum 2005 – 2010 (Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)	62
Karte 5a: Interpolierte Schwerpunktbereiche mit LHKW-Belastungen im Zeitraum 2011 – 2016 (Quelle Stadt Nürnberg, Umweltamt)	63
Karte 6: Nitratgehalte im Nürnberger Grundwasser im Zeitraum 2005 – 2010 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	66
Karte 7: Nitratgehalte im Nürnberger Grundwasser im Zeitraum 2011 – 2016 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	67
Karte 8: Pflanzenschutzmittel (PSM-Summengehalte) im Nürnberger Grundwasser im Zeitraum 2005 – 2010 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	68
Karte 9: Pflanzenschutzmittel (PSM-Summengehalte) im Nürnberger Grundwasser im Zeitraum 2011 – 2016 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	69
Karte 10: Überblick über die Chloridbelastungen 2005 – 2010 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	72
Karte 11: Überblick über die Chloridbelastungen 2011 – 2016 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	73
Karte 12: Messstellen des Sondermessprogrammes 2014 (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	75
Karte 13: Ergebnisse der Nitratuntersuchungen an Brunnen 2016 und Drainagen 2012 (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	80
Karte 14: Ergebnisse der Pflanzenschutzmitteluntersuchungen (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)	83
Karte 15: Das Grundwassermessnetz der Stadt Nürnberg und Datenloggermessstellen im Stadtgebiet von Nürn- berg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	88
Karte 16: Trend langfristiger Grundwasserspiegeländerungen bei Notbrunnen, Auswertung halbjährlicher Grund- wasserstandsdaten, erhoben von der N-ERGIE - Service GmbH (Auswertung der linearen Trends); (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	95
Karte 17: Überblick der Grundwassertemperaturen in 10 m Tiefe (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	98
Karte 18: Überblick der geothermischen Grundwassernutzung in Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	108
Karte 19: Altlasten bei Chemischen Reinigungen (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	142
Karte 20: Planungshinweiskarte wassersensibler Bereiche im Stadtgebiet Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt)	147
Karte 21: Übersicht der genehmigten Versickerungsanlagen in Nürnberg (Quelle: Stadt Nürnberg, Umweltamt) . .	151

Karten in der Anlage

Anlage A:	Grundwassergleichenplan
Anlage B:	Flurabstandskarte
Anlage C:	Deckschichtenkarte von Nürnberg
Anlage D:	Grundwasserbelastungskarte

Anhang V

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Simulierte jährliche Anzahl der Kennwerte nach verschiedenen Klimaprojektionen unter Berücksichtigung der ExWoSt-Klimamessungen (Werte gerundet); Ergebnis der Untersuchungen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt Nürnberg (Altstadt und Weststadt) unter Berücksichtigung der regionalen Klimamodelle WETTREG und REM (Quelle: VETTER, M. & WEINBERGER, S. 2012 [12])	17
Tabelle 2: Langjährige mittlere Jahresniederschläge an der Flugwetterwarte Nürnberg in verschiedenen Zeiträumen (Auswertung: Stadt Nürnberg, Umweltamt; Datengrundlage: Werte des Deutschen Wetterdienstes, DWD) .	18
Tabelle 3: Entwicklung der Niederschlagsmengen seit 1956 an der Flugwetterwarte (Auswertung des linearen Trends: Stadt Nürnberg, Umweltamt; Datengrundlage: Werte des Deutschen Wetterdienstes, DWD)	18
Tabelle 4: Prognosen für Klima- und Wasserhaushaltsgrößen	20
Tabelle 5: Mögliche Klimafolgen auf wasserbezogene Themenbereiche	21
Tabelle 6: Übersicht der Entnahmebrunnen im Stadtgebiet	28
Tabelle 7: Übersicht der Faktoren des natürlichen Wasserhaushaltes	49
Tabelle 8: Unvollständige Übersicht und Kurzdefinition von Kenngrößen zur Beschreibung der Wirkungsweise von urbanen Flächen	51
Tabelle 9: Wasserbilanz für die Stadt Nürnberg (Datenquelle: BEYER, 2015 [86], modifiziert)	52
Tabelle 10: Übersicht der untersuchten Leitparameter	57
Tabelle 11: Änderung der Grundwasserstände im Stadtgebiet und im Knoblauchsland	96
Tabelle 12: Ökologische Landwirtschaft / zertifizierte Bio-Betriebe in Nürnberg	122
Tabelle 13: LCKW-Gesamtausträge aus dem Grundwasser bei 33 abgeschlossenen Sanierungsfällen	125
Tabelle 14: Anfangskonzentration von Per in der Bodenluft bei den Erkundungsstandorten	140
Tabelle 15: Austragsmengen von Per aus der Bodenluft bis zum Ende bzw. aktuellen Stand der Sanierung	140
Tabelle 16: Per-Bodenluft-Sanierungsdauer	140
Tabelle 17: Per-Konzentrationen im Grundwasser	141
Tabelle 18: Per-Grundwasser-Austragsmengen	141
Tabelle 19: Per-Grundwasser-Sanierungsdauer	141
Tabelle 20: Entwicklung der LCKW-Konzentrationen im Grundwasser im Verlauf der Sanierung bei dem betrachteten Einzelfall	141

Anhang VI

Literaturverzeichnis

- [1] STADT NÜRNBERG - UMWELTAMT: Grundwasserbericht 2011 (2011); Nürnberg
- [2] SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1979):Lehrbuch der Bodenkunde; 10. Auflage; Stuttgart
- [3] LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2016): Jahresbericht 2016 mit Schwerpunkt Wasser; Freising-Weihenstephan
- [4] STADT NÜRNBERG - REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT / UMWELTAMT (2014): Masterplan Freiraum; Nürnberg
- [5] STADT NÜRNBERG - REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT / UMWELTAMT (2014): Masterplan Freiraum Leitbild „Kompaktes Grünes Nürnberg 2030“ - Gesamtstädtisches Freiraumkonzept; Nürnberg
- [6] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2009): Das Bayerische Bibermanagement. Konflikte vermeiden - Konflikte lösen. S. 8.; LFU - Bayern; Augsburg
- [7] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2009): Biber in Bayern. Biologie und Management; S48; LFU - Bayern; Augsburg
- [8] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2014): Arbeitshilfe Wege zu wirksamen Uferstreifen; LFU - Bayern; Augsburg
- [9] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: Klimawandel und Hochwasser [Online] [Zitat vom: 05. 01 2018.] https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_entstehung/klimawandel/index.htm
- [10] DIN EN ISO 22282-3 (2008): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche Teil 1 - 6; Berlin
- [11] GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH/ STADT NÜRNBERG - UMWELTAMT in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. G. Gross (2014): Stadtklimagutachten - Analyse der klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet von Nürnberg; Hannover
- [11 a] [11] Stadtklimagutachten Seite 13-14: Durchschnittliche Anzahl von Hitzewellen pro Jahr an der Nürnberg-Flugwetterwarte, Betrachtungszeitraum 1961- 2100; WETTREG 2012-Simulation, Szenario A1B
- [12] VETTER, M.; WEINBERGER, S. (2012): Die Klimawandelanpassungsstrategie der Stadt Nürnberg Teilbereich Klimasi-mulationen - Abschlussbericht; Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Nürnberg. Universität Erlangen - Nürnberg, Departement für Geographie; Erlangen
- [13] ZWECKVERBAND-BROMBACHSEE (2017): Die Überleitung von Altmühl- und Donauwasser in das Regnitz-Main-Gebiet; [Online] <http://www.wwa-an.bayern.de/ueberleitung/system/funktion/index.htm>
- [14] WASSERWIRTSCHAFTSAMT ANSBACH (2017): Ausgleich des Wasserhaushalts: Die Überleitung von Altmühl- und Do-nauwasser in das Regnitz -Main-Gebiet [Online] <http://www.wwa-an.bayern.de/ueberleitung/system/funktion/index.htm>
- [15] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2016): Niedrigwasser in Bayern - Grundlagen, Veränderungen und Aus-wirkungen; LFU - Bayern; Augsburg
- [16] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, SCHARF, U. (2015): Größte Tro-ckenheit in Unterfranken seit 1976 - Überleitung pumppt Wassermassen in Bayerns Norden. Pressemitteilung 121/5; Freistaat Bayern, München
- [17] NORDBAYERISCHER KURIER (2017): Extremsituation: Überleitung von Donauwasser nach Franken gestoppt [Online] [Zitat vom: 11. 12 2017] <http://www.nordbayerischer-kurier.de/Nachrichten/Extremsituation-Ueberleitung-von-Do-nauwasser-nach-Franken>
- [18] GLÄSER, CHRISTIANE (2017): Der Wasservorrat ist fast aufgebraucht; Nürnberger Zeitung vom 10.04.2017; Nürn-berg

- [19] KLIWA: Klimawandel in Süddeutschland (2016): Veränderungen von meteorologischen und hydrogeologischen Kenngrößen - Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA; Monitoringbericht 2016 - Zusätzliche Auswertungen: Niederschlag; .s.l. : KLIWA, 2016; LFU - Bayern; Augsburg
- [20] KLIWA: Klimawandel in Süddeutschland (2016): Veränderungen von meteorologischen und hydrogeologischen Kenngrößen - Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA; Monitoringbericht 2016 - Monitoringbericht 2016: Zusätzliche Auswertungen: Lufttemperatur. s.l. : KLIWA, 2016; LFU - Bayern; Augsburg
- [21] KLIWA - Berichte Heft 16 (2011): Langzeitverhalten von Grundwasserständen, Quellschüttungen und Grundwasserbürtigen Abflüssen in Baden - Württemberg, Bayern und Rheinland- Pfalz; LFU - Bayern; Augsburg
- [22] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2015): Klima Report Bayern 2015; Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten. s.l. : Freistaat Bayern; München
- [23] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2014): Beeinflusst der Klimawandel die Jahreszeiten? Antworten der Phänologie. LFU - Bayern; Augsburg
- [24] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2012): Der Klimawandel in Bayern; Auswertung Regionaler Klimaprojektionen: Regionalbericht Regnitz; LFU - Bayern; Augsburg
- [25] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (2009): Bayerische Klima Anpassungsstrategie (BayKlas); Freistaat Bayern; München
- [26] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2017): Niederschlag in der Zukunft. [Online] [Zitat vom: 15. 8 2017] https://www.lfu.bayern.de/klima/in_zukunft/bayern/niederschlag/index.htm
- [27] REGIERUNG VON MITTELFRANKEN (2016): Wasserversorgungsbilanz Mittelfranken. Regierung von Mittelfranken; Ansbach
- [28] KLIWA - Berichte Heft 18 (2012): Die Entwicklung von trockenen Großwetterlagen mit Auswirkungen auf Süddeutschen Raum.; LFU - Bayern; Augsburg
- [29] KLIMAFOLGEN - ONLINE (2017): Wasserbilanz Nürnberg. [Online] <http://www.klimafolgenonline.com/>; Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) e. V.
- [30] FRITZ, SABINE, HIRSCHFELD, JESKO UND MEHLER, KATRIN (2015): Ergebnisse des Stakeholderdialogs zur Klimaanpassung - Grundwasser zwischen Nutzung und Klimawandel; Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW); Berlin
- [31] KLIWA Broschüre (2012): Klimawandel im Süden Deutschlands / Ausmaß - Auswirkungen - Anpassung; LFU - Bayern, Augsburg
- [32] BAUMÜLLER, J UND AHMADI, Y. (2016): Beitrag von Regenbewirtschaftungsmaßnahmen und Freiraumplanerischen Gestaltungselementen zur Verbesserung des Stadtklimas; SAMUWA-Publikation; Institut für Landschaftplanung und Ökologie Fakultät für Architektur und Stadtplanung Universität Stuttgart; Stuttgart
- [33] STADT NÜRNBERG - REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (2017): Klimaschutz in Nürnberg. [Online] https://www.nuernberg.de/internet/klimaschutz/klimaschutz_nbg.html
- [34] STADT NÜRNBERG - UMWELTAMT (2013): Handbuch Klimaanpassung - Bausteine für die Nürnberger Anpassungsstrategie; Nürnberg
- [35] STADT NÜRNBERG - REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (2014): Klimafahrplan 2010 - 2050; Nürnberg
- [36] STADTENTWÄSSERUNG UND UMWELTANALYTIK NÜRNBERG (2016): Zukunftsweisender und Nachhaltiger Umgang mit Regenwasser; Nürnberg
- [37] SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT (2016): Stadtentwicklungsplan Klima Konkret - Klimaanpassung in der wachsenden Stadt; Berlin
- [38] STADT NÜRNBERG - STADTPLANUNGSAMT (2016): Mehr Grün für Nürnberg - Förderung von Begrünungsmaßnahmen auf privaten Hof-, Frei-, Fassaden- und Dachflächen; Nürnberg
- [39] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2016): Umwelt/Wissen-Wasser-Hochwasser-Eigenvorsorge: Fit für den Ernstfall; LFU - Bayern, Augsburg
- [40] SCHILLER, B UND HUWE, C. (2012): Saubere Lösung: Rinnenfilter entlasten das Grundwasser und die kommunalen Kassen, Verkehrsabflüsse werden fit gemacht für die Versickerung, IN:FBR Wasserspiegel; Darmstadt

- [41] N-ERGIE AG (2017): Trinkwasser aus verlässlichen Quellen. [Online] [Zitat vom: 22. 11 2017.] <https://www.n-ergie.de/n-ergie/unternehmen/trinkwasser/herkunft/>
- [42] THÜRACH, H. (1888): Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleiche zu den benachbarten Gebieten. Cassel : Geogn. JH. 1, 1888. S. 75-162
- [43] THÜRACH, H. (1889): Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleiche zu den benachbarten Gebieten. Cassel : Geogn. JH. 2, 1889. S. 1 - 90
- [44] WURM, A. (1929): Die Nürnberger Tiefbohrungen. Ihre Wissenschaftliche und Praktische Bedeutung. München : Abh. Geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt 1, 1929. S. 1 - 44
- [45] FICKENSCHER, K. (1930): Erläuterungen zu der geologischen Karte des Stadtgebietes von Nürnberg 1:25000. Nürnberg: Verlag des Stadtrates Nürnberg
- [46] BIRZER, FR. (1936): Eine Tiefbohrung durch das Mesozoische Deckgebirge in Fürth in Bayern; Zbl. Min. etc., Abt. B, 1936: 425-433; Stuttgart
- [47] BIRZER, FR.(1956): Die Mineralwasserbrunnen von Fürth in Bayern. Erlangen, Geologische Blätter Nordostbayern
- [48] FREYBERG, B.V. (1954): Die Randfazies des Gipskeupers, insbesondere des Benkersandsteins. Erlanger geologische Abhandlungen, Erlangen
- [49] SPÖCKER, R.G. (1968): Neues über den Untergrund von Nürnberg. Geologische Beobachtungen an den Aufschlüssen für den Kanal-und Hafengebäude bei Nürnberg - Hinterhof. Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg, S. 19 - 24; Nürnberg
- [50] SPÖCKER, R.G. (1964): Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund von Nürnberg. Nürnberg: Abhandlung Naturhistorischer Geschichte Nürnbergs XXXII, 1964. S. 1 - 136
- [51] BERGER, K.B. (1978): Erläuterungen zur Geologischen Karte Nürnberg Fürth Erlangen und Umgebung 1:50000. Geologisches Landesamt; München
- [52] BERGER, K.B. (1979): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000. Geologisches Landesamt; München
- [53] BAIER, ALFONS (2007): Des Heiligen Römischen Reiches Streusandbüchse. In: [Baumann, W., Diefenbacher, M., Herbers, H., Krüger, F. & Wiktorin, D.]: Der Nürnberg Atlas. Vielfalt und Wandel der Stadt im Kartenbild: 148-149. Emons; Köln
- [54] BAIER, ALFONS (2009): Die Natursteingewinnung und die Hydrogeologischen Verhältnisse am Schmausenbuck im Spiegel der Geologischen und historischen Entwicklung des Nürnberger Raumes. Geologische Blätter Nordostbayern; Erlangen
- [55] BAIER, ALFONS (2000): Die Espanquelle in Fürth/Bayern - Ein verborgener Fränkischer Mineralwasserbrunnen. Geologische Blätter Nordostbayern, Erlangen
- [56] BAIER, ALFONS, ET AL. (2016): Grundwasser in Nürnberg: Wichtige Einheiten und deren Nutzbarkeit; Grundwasser. Bd. 21, Heidelberg
- [57] GUTTENBRUNNER, CH. UND HILDEBRANDT, G. (1994): Handbuch der Heilwasser-Trinkkuren; S. 365; Sonntag; Stuttgart
- [58] LEONHARD, K.L.V. (1856): Aus unserer Zeit in meinem Leben; S. 308. Bd. 2.;Schweizerbarth; Stuttgart
- [59] WURSTER, P. (1964): Geologie des Schilfsandsteins. Hamburg : Mitt.Geol. Staatsinstitut Hamburg 33, 1964. S. 140
- [60] BAIER, ALFONS (1998): Zur Geschichte, Geologie und Hydrologie des Burgberges zu Nürnberg; Geologische Blätter Nordost Bayern, Erlangen
- [61] BAIER, ALFONS (2001): Silbersee und Silberbuck im Südosten von Nürnberg - Gefährliche Sondermülldeponien im Grundwasserbereich. Geologische Blätter Nordostbayern, Erlangen
- [62] HAARLÄNDER, W. (1955): Geologie des Blattes Röttenbach. Erlangen : Erlanger Geologische Abhandlungen 13, 1955. S. 1 - 16
- [63] URLICH, M. (1968): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000 Blatt Nr. 6533 Röttenbach A.D. Pegnitz. München: Bayr. Geol. LA., S. 126

- [64] BERGER, K.B. (1962): Zur Geologie und Radioaktivität des uranhaltigen Burgsandsteins in Mittelfranken. *Geologica Bavaria* 49
- [65] BAIER, ALFONS, ET AL.(2012): Geologisch/Archäologische Aufnahme des „Tiefen Brunnen“ Auf der Kaiserburg zu Nürnberg. *Geologische Blätter Nordostbayern*, Erlangen
- [66] DORN, P. (1926): Geologie des Wendelsteiner Höhenzugs bei Nürnberg; Deutsche Geologische Gesellschaft, Berlin
- [67] OSTROWICKA, D., KOCH, R. UND BAIER, A. (2009): Zur Petrographie des Blasensandsteins in der Kernbohrung B2 (Mittlerer Keuper, N - Schwabach, Dr.Haas Straße); *Geologische Blätter Nordostbayern* 59, 2009. S. 1 - 4 ; 301 - 324, Erlangen
- [68] STETTNER, G. (1971): Die Beziehungen der Kohlesäureführenden Mineralwässer Nordostbayerns und der Nachbargebiete zum Rhegmatischen Störungssystem des Grundgebirges; *Geologica Bavarica* 64, 1971. S. 385 - 394, München
- [69] BRUNNACKER, K. (1955): Die Böden der Terrassen und der Flugsande im Regnitztal. *Geologische Blätter Nordostbayern*, Erlangen
- [70] SCHIRMER, W. (1991): Die Tertiäre Flnzterasse auf der nördlichen Frankenalb.Sonderveröff. Köln : Geologisches Institut Universität Köln 82, S. 231 - 243, Köln
- [71] BAIER, ALFONS (2011): Nürnberger Flussgeschichte. Eine Rekonstruktion der Quartärbasis und der Paläotäler im Untergrund von Nürnberg. *Geologische Blätter Nordostbayern*, Erlangen
- [72] LÜTTIG, G.W. (1997): Erlangen, *Geol.BL.NO-Bayern* 47, Fränkische Flussgeschichten. S. 1 - 4; 151 - 181
- [73] FINSTERWALDER, R. (1986): Hydrogeologie im Gebiet südöstlich Nürnberg unter besonderer Berücksichtigung einiger mit dem Bau des Main Donau Kanals zusammenhängender Veränderungen, *Erlanger Geologische Abhandlungen*, Erlangen
- [74] FICKENSCHER, K. (1935/38): Die Geologisch - Hydrogeologischen Verhältnisse des tieferen Untergrundes im Stadtbezirk Nürnberg. I. Teil Nürnberg 1935 und II. Teil Nürnberg 1938
- [75] EWAG ENERGIE - UND WASSERVERSORGUNGS AG (1996): 100 Jahre Wasserwerk Erlenstegen. N - ERGIE, S. 24, Nürnberg
- [76] GOODWYN, P. (2016): Geophysikalische Untersuchungen zur Erkundung der Aquiferbasis im Wasserschutzgebiet Erlenstegen. unveröffentl. Masterarbeit. Universität Bayreuth, 2016. S. 96, Bayreuth
- [77] KNÖDEL,K. ET AL. (2005): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien. Band 3; Geophysik. Berlin : Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, S. 1102
- [78] NETZBAND, M. (1998): Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung zur Versiegelungskartierung in Siedlungsräumen. *IÖR - Schriften* 28,Sächsische Druck- und Verlagshaus GmbH., Dresden
- [79] BERLEKAMP, L.-R. UND PRANZAS, N. (1986): Methode zur Erfassung der Bodenversiegelung von städtischen Wohngebieten, ein Beitrag zum Hamburger Landschaftsprogramm. W. Kohlhammer GmbH, 1 S. 92 - 95, Stuttgart
- [80] SPERBER, H. UND H.H., MEYER. (1989): Vorstellung eines Schemas zur Erfassung und Bewertung der Ver- und Entsiegelungsintensität in Siedlungsbereichen, *Das Gartenamt* 38, 1989
- [81] POHL, W. (1991): Werte für die Landschafts- und Bauleitplanung, Bodenfunktionszahl - Grün - Volumenzahl. *Norddeutsche Naturschutzakademie - Mitteilungen*, Heft 4; Alfred Töpfer Akademie für Naturschutz, 1991. S. 2 - 6, Schneverdingen
- [82] BECKER, C.W., ET AL.(1990): Der Biotopflächenfaktor als ökologischer Kennwert, Grundlagen zur Ermittlung und Zielgrößenbestimmung. Gutachten für die Stadt Berlin, Berlin
- [83] SCHULZ, A. (1982): Der KÖH - Wert, Modell einer komplexen planungsrelevanten Zustandserfassung. *Informationen zur Raumentwicklung*; S. 847 - 863. Bd. 10
- [84] ROSE, H. (1991): Der KÖP- Wert in der Ökologisch orientierten Stadtplanung; *Mannheimer geographische Arbeiten* Vol.33, Mannheim
- [85] STADT NÜRNBERG - UMWELTAMT (2013): Flächennutzungstypenkartierung Nürnberg, Nürnberg
- [86] BEYER, A. (2015): Lokale Wasserbilanz für eine Stadt als Folge des Klimawandels - Am Beispiel der Stadt Nürnberg, Bachelorarbeit, Hochschule Weihenstephan - Triesdorf, Weidenbach

- [87] BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (2003): Hydrochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns. GLA Fachberichte. Bayerisches Geologisches Landesamt, Bd. 21, S. 250, München
- [88] UMWELTBUNDESAMT (2013): Zu welchen Schäden führt Streusalz in Gewässern? [Online] 05. 09 2013. <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/zu-welchen-schaeden-fuehrt-streusalz-in-gewaessern>
- [89] BIESKE, E. (1956): Handbuch des Brunnenbaus, Band I Grundwasserkunde, Geräte, Baustoffe; Berlin-Konradshöhe
- [90] KLIWA - Berichte (2008): Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie von Verdunstung und Klimatischer Wasserbilanz in Baden - Württemberg und Bayern, Heft 12 2008, LFU - Bayern, Augsburg
- [91] OKE, T.R. (1973): City size and the urban heat island, Atmospheric Environment 7, S. 769 - 779
- [92] BAYER, P., ET AL. (2016): Extracting past atmospheric warming and urban heating effects from borehole temperature profiles, Geothermics 64, S. 289 - 299
- [93] BUNDESVERBAND GEOTHERMIE (2017): Die vielen Möglichkeiten der oberflächennahen Geothermie [Online] 10. 8 2017; <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/technologien/oberflaechennahe-geothermie.html>
- [94] BUNDESVERBAND GEOTHERMIE (2017): Einstieg in die Geothermie. [Online] 10. 8 2017. <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/einstieg-in-die-geothermie.html>
- [95] MENBERG, K., ET AL. (2013): Subsurface urban heat islands in german cities, Science of the total environment 7, S. 123 - 133, Elsevier
- [96] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2017): Geothermie Oberflächennah. [Online] 15. 8 2017; https://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/geothermie_oberflaechennah/index.htm
- [97] MARLIN, O. (2015): Geothermisches Potential von Fischbach. Bachelorarbeit der Universität Erlangen Nürnberg, Professur für Ingenieurgeologie, Erlangen
- [98] BUNDESVERBAND GEOTHERMIE (2017): Technologie [Online] 10.08.2017 <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/technologien.html>
- [99] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE VDI - FACHBEREICH ENERGIEWANDLUNG UND -ANWENDUNG (2010): VDI4640 - 1. Thermische Nutzung des Untergrunds - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte; 2010-06
- [100] HARTMANN, K., ET AL.(2009): Vergleichende Untersuchungen der Infiltrationseigenschaften von konventionell und ökologisch bewirtschafteten Böden. Julius - Kühn Institut, Braunschweig
- [101] LILIENTHAL, H. UND SCHNUG, E. (2008): Hochwasserschutz durch ökologische Bewirtschaftung. KTBL - Schr. 472 Seite 123 - 130
- [102] KAINZ, M.(2005): Enhancing sustainability by landscape design and conversion to organic agriculture. Researching Sustainable Systems, Proceedings of the first Scientific Confoerence of the international Society of Organic Agriculture. Adelaide, Australia
- [103] STADT NÜRNBERG - UMWELTAMT (1987): Grundwasserbericht 1987; Nürnberg
- [104] LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN WÜRTTEMBERG (2015): Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung von langlaufenden Pump - and - treat Maßnahmen; Karlsruhe
- [105] R & H UMWELT GMBH (1997): Unveröffentlichtes Gutachten; Nürnberg
- [106] BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch - Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001), Bundesgesetzblatt 2001, Teil 1, Seite 959f, Bonn
- [107] BAYERISCHE STAATSKANZLEI: Niederschlagswasserfreistellungsverordnung - Verordnung über die erlaubnisfreie schadlose Versickerung von gesammeltem Niederschlagswasser. Niederschlagswasserfreistellungsverordnung – NWFreiV. Bayern : Freistaat Bayern, 2014
- [108] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V.(DWA) (2005): Arbeitsblatt DWA - A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hennef
- [109] DIN EN ISO 14688 - 1. Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung. Beuth - Verlag, 2013, Berlin

- [110] DIN 18130 - 1 . Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche. Beuth - Verlag, 2013, Berlin
- [111] DIN 18123. Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung. Beuth - Verlag, 2011, Berlin
- [112] BEYER, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve; Wasserwirtschaft und Wassertechnik 14, Heft 6, S. 165 - 168
- [113] HAZEN, A. (1893): Some Physical Properties of Sands an Gravels with special reference to their use in filtration; 24th annual report. s.l. : Massachusetts State Bureau of Health, 1893. S. 539 - 556
- [114] ZIESCHANG, J. (1964): Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Lockergesteinsgrundwasserleitern, Zeitschrift für Angewandte Geologie. Bd. 10, Stuttgart
- [115] ZHU, KE., ET AL. (2010): The geothermal potential of urban heat islands; Environmental research letters, Karlsruhe
- [116] ZEH, H. (2010): Ingenieurgeologische Bauweisen im naturnahen Wasserbau; BAFU-Praxishilfe; Bundesamt für Umwelt, Bern
- [117] WILLACKER, S. (2017): Geothermisches Potential in Nürnberg Großreuth bei Schweinau. Erlangen; Bachelorarbeit der Universität Erlangen Nürnberg, Professur für Ingenieurgeologie, Erlangen
- [118] SIEKER, H. (2015): Wasserbilanzen von Elementen zur Regenwasserbewirtschaftung, Elementtyp: Muldenversickerung; Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker, 2015
- [119] RAMMLER, M. (2016): Auswirkung der Urbanisierung auf die Grundwassertemperatur in Nürnberg und erster hydrochemischer Vergleich ausgewählter Aquiferabschnitte; Masterarbeit der Universität Erlangen Nürnberg, Lehrstuhl für angewandte Geowissenschaften, Erlangen
- [120] STADT NÜRNBERG - STADTPLANUNGSAMT (2014): Baulandmobilisierung und Flächenmanagement, Handlungsmöglichkeiten und Erfahrungen in anderen deutschen Kommunen, Nürnberg
- [121] MEYER, HEINZ (2017): Trockenster Winter seit 53 Jahren, Verlag Nürnberger Presse, Nürnberger Nachrichten vom 02.03.2017.
- [122] SUBERT, H.L., BAIER, A., BARTH, J.A.C. (2011): Unterschiede und Gemeinsamkeiten Nürnberger Grundwässer - Erste Ergebnisse von hydrochemischen- und Isotopenuntersuchungen. Grundwasserbericht 2011, 36-38; Umweltamt UwA / Umweltplanung, Nürnberg.
- [123] KRANZ, L. (2017): Oberflächennahe Geothermie im Nürnberger Stadtgebiet: Altstadt. Erlangen : Bachelorarbeit der Universität Erlangen Nürnberg, Professur für Ingenieurgeologie, Erlangen
- [124] KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (KLIWA): Klimawandel in Süddeutschland - Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen Monitoringbericht 2011 - Zusätzliche Auswertungen - Lufttemperatur, KLIWA, 2011
- [125] HEIDEN, U. (2004): Analyse hyperspektraler Flugzeugscannerdaten zur ökologischen Charakterisierung städtischer Biotope, Dissertation; TU Berlin, Fakultät VII - Architektur Umwelt Gesellschaft, 2004. S. 136, Berlin
- [126] BECKER, C., ET AL.(2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung - Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2015. S. 90, Bonn
- [127] BAIER, ALFONS (2007): Die St. Wolfgangquelle östlich Schloss Kugelhammer (Lkr. Roth). Hydrogeologische Untersuchung eines mittelalterlichen Quellheiligtums und dessen potentiellen Einzugsgebietes; EMONS, Köln
- [128] KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (Heft 17; KLIWA 2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden - Württemberg, Bayern und Rheinland - Pfalz; Untersuchungen auf Grundlage von WETTREG2003 und WETTREG2006 - Klimaszenarien; LFU - Baden Württemberg, Freiburg
- [129] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2014): Tabelle zur Risikoanalyse für Flusswasserkörper, ökologischer/s Zustand / Potenzial; Die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie in Bayern - Aktualisierung der Bestandsaufnahme 2013 - Ergebnisse; LfU - Bayern, Augsburg

- [130] KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (KLIWA): Klimawandel in Süddeutschland - Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen Monitoringbericht 2011 - Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA, 2011
- [131] MUTSCHMANN, JOHANN ; STIMMELMAYR, FRITZ (2007): Taschenbuch der Wasserversorgung. Wiesbaden: 14. Aufl.; Wiesbaden
- [132] DEUTSCHE IPCC KOORDINIERUNGSSTELLE (2014): Kernbotschaften des fünften Sachstandsberichts des IPCC, Klimaänderungen 2014: Synthesebericht. IPCC, Berlin
- [133] STADT NÜRNBERG, GESUNDHEITSAMT (2016): Hitze und Gesundheit - Ratgeber für den Sommer; Gesundheitsamt der Stadt Nürnberg, Nürnberg
- [134] R&H - UMWELT (2015): Grundwasserströmungsmodell, unveröffentlichtes Gutachten (29.10.2015); Nürnberg
- [135] KOMMISSION BODENSCHUTZ BEIM UMWELTBUNDESAMT (KBU) (2016): Böden als Wasserspeicher, Erhöhung und Sicherung der Infiltrationsleistung von Böden als ein Beitrag des Bodenschutzes zum vorbeugenden Hochwasserschutz; KBU, Dessau - Roßlau
- [136] STADT NÜRNBERG – REFERAT FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT / UMWELTAMT (2014): Masterplan Freiraum; Vertiefender Baustein Wasser; Arbeitsexemplar Stand November 2014
- [137] GEOWISSENSCHAFTLICHES BÜRO SEITZ (GBS) (2010): Unveröffentlichtes Gutachten, Nürnberg
- [138] GRIMM, W.-D. (1969): Hydrogeologische Kartierungen im Raum Nürnberg. Z.Dt.Geol.Ges., Bd. 118, S. 308 - 332, Berlin
- [139] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2001): Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer, Merkblatt 3.8./1; München
- [140] DIN 19682-7 (2007-07): Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelzylinder-Infiltrimeter, Beuth - Verlag, 2007, Berlin
- [141] DIN 19682-8 (2012-07): Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 8: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit mit der Bohrlochmethode, Beuth - Verlag, 2012, Berlin
- [142] DEUTSCHEN VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (DWA) (2008): DWA-Kommentar zum Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef.
- [143] BATZ, A. (2015): „Untersuchung des Potentials für flache Geothermie im Raum Großreuth/Nürnberg und Darstellung mit ArcGIS“, Masterarbeit Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen
- [144] DWD, DEUTSCHER WETTERDIENST: Online-Wetterdaten, Wetterdatenabruf WESTE XL; www.dwd.de/WESTE, Deutscher Wetterdienst, Klima- und Umweltberatung, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach
- [145] BURDA JOSEF (2017): Bodendurchlässigkeit, k_f -Wert; <http://www.ebook-tipp.eu/regenwasserversickerung/bodendurchlaessigkeit-kf-wert>
- [146] WILTSCHUT, HEINRICH (2012): Permeameter-Infiltrimeter zur Bestimmung der Bodendurchlässigkeit im Gelände – Betriebsanleitung 2012; Geotechnisches Büro Heinrich Wiltschut, 32676 Lüdge
- [147] UMWELTBUNDESAMT (2008): Trinkwasserhygienische Bewertung stoffrechtlich „nicht relevanter“ Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser, Bundesgesundheitsbl–Gesundheitsforsch–Gesundheitsschutz 2008 - 51: 797-801
- [148] UMWELTBUNDESAMT (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission, Bundesgesundheitsbl–Gesundheitsforsch–Gesundheitsschutz 2003 - 46: 249-251
- [149] STADT NÜRNBERG, BÜRGERMEISTERAMT / STAB STADTENTWICKLUNG (2016): Integriert planen – integriert handeln, Nürnberg
- [150] RAMBOLL STUDIO DREISEITL (2016): Nürnberg – Tiefes Feld Quartiersentwicklungsplan - Entwässerungskonzept als Bestandteil der Freiflächengestaltungsplanung; Überlingen (Gutachten im Auftrag der Stadt Nürnberg)

- [151] BAYERISCHE LANDESAMT FÜR UMWELT (2017): Gemessene Klimaveränderung [Online] [Zitat vom 13.07.2017] https://www.lfu.bayern.de/wasser/klima_wandel/klimaveraenderung/index.htm
- [152] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ / STADT NÜRNBERG - UMWELTREFERAT (1996): Arten- und Biotopschutzprogramm Stadt Nürnberg, Hrsg: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), München
- [153] UMWELTBUNDESAMT (2018): Glyphosat [Online] 23.05.2018 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/pflanzenschutzmittel/glyphosat>
- [154] BUND-/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER, LAWA (2009/2010) : Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – NSO-Heterocyclen; http://www.lawa.de/documents/Bericht_NSO_Heterozyklen_9f8.pdf
- [155] BUND-/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER, LAWA (2016) : Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser; Aktualisierte und überarbeitete Fassung; Stuttgart 2017; [Online] http://www.lawa.de/documents/Geringfuegigkeits_Bericht_Seite_001-028_a1b.pdf
- [156] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2018): Entwicklung der PSM-Belastung in bayerischen Gewässern – Bilanz nach 30 Jahren PSM-Monitoring; 2.korrigierte Fassung, UmweltSpezial; Augsburg
- [157] STADT NÜRNBERG (2014): Sitzungsunterlagen mit Beschlussgutachten des Nürnberger Stadtrates vom 25.06.2014; TOP 12 Nordanbindung zum Nürnberger Flughafen; [Online] <https://online-service2.nuernberg.de/Eris/Base/calendar>
- [158] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2009): Artenvielfalt im Biberrevier, Wildnis in Bayern. Seiten 10, 18, 19, 29, 42; Augsburg
- [159] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2014): Junihochwasser 2013 – Wasserwirtschaftlicher Bericht; 2. überarbeitete Auflage; UmweltSpezial; Augsburg

Anhang VII

Autorenverzeichnis

Textbeiträge externer Organisationen

DR. BAIER, A.

GeoZentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Schlossgarten 5; 91054 Erlangen

2.1. *Wichtige hydrogeologische Einheiten und deren Ausprägungen*

DR. BAYER, M; PRIESS, A.

GeoZentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Schlossgarten 5; 91054 Erlangen

2.2. *Das geohydraulische Verhalten des Nürnberger Untergrundes*

DR. FRÜHAUF, H.

Wasserwirtschaftsamt Nürnberg; Allersberger Straße 17/19; 90461 Nürnberg

3.1.5. *Grundwasserqualität gemäß der europäischen Wasserrahmenrichtlinie*

GOODWYN, P.

N-ERGIE Aktiengesellschaft; Am Plärrer 43; 90429 Nürnberg

2.3.2. *Das Quartär im Bereich des Pegnitztals bei Erlenstegen*

KLEEBERGER, U.

Wasserwirtschaftsamt Nürnberg; Allersberger Straße 17/19; 90461 Nürnberg

4.1. *Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Nürnberg – Chancen und Risiken*

PROF. DR.-ING. KOLB, F.

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf; Markgrafenstraße 16; 91746 Weidenbach; Lehrgebiet Wassertechnologie

1.3.3. *Mögliche Konsequenzen der urbanen Klimaanpassung*

2.4.3. *Daten zum Wasserhaushalt in Nürnberg – lokale Wasserbilanz*

PRIESS, A.

GeoZentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Schlossgarten 5; 91054 Erlangen

4.4. *Anwendungstechnik zur Nutzung der Geothermie*

RAMMLER, M; WEHRL, M; PROF. DR. J. ROHN; PROF. DR. J.A.C. BARTH

GeoZentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Schlossgarten 5; 91054 Erlangen

3.3.2. *Neue Erkenntnisse zu erhöhten Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet Nürnberg*

RAUCH, C.

Deutsche Bahn AG DB Immobilien Region Süd; Kundenteam Altlasten-/Entsorgungsmanagement

Barthstraße 12; 80339 München

5.1.5. *Ermittlung einer LCKW-Schadstoffausbreitung mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells im Bereich Rangierbahnhof und Ausbesserungswerk Nürnberg*

SCHMIDT, A.

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau; An der Steige 15; 97209 Veitshöchheim

3.1.7. *Notwendige Maßnahmen der Landwirtschaft zur Reduzierung der Nitratauswaschung*

SPLITGERBER, H.

Wasserwirtschaftsamt Nürnberg; Allersberger Straße 17/19; 90461 Nürnberg

3.1.6. *Grundwasserbelastungssituation im Knoblauchsland - Untersuchungsaktionen des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg*

QUERGFELDER, G.; DUNGER, S.

Wasserverband Knoblauchsland; Hofwiesenweg 11; 90427 Nürnberg

1.5. *Bewässerung des Knoblauchslandes – Aktuelles*

WEHRL, M.

GeoZentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Schlossgarten 5; 91054 Erlangen

2.3.1. *Die Bedeutung der quartären Deckschichten*

4.3. *Geothermisches Potential des Nürnberger Untergrundes*

Textbeiträge der Stadtverwaltung

BAUMGÄRTEL, S.; LÖHR, G.

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- 3.1.3. Leitparameter des Grundwassermonitorings
- 3.1.4. Weitere Parameter - Sondermessprogramm 2014
- 3.3.1. Überwachung der Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet Nürnberg seit 2012 – erste Erkenntnisse
- 3.3.3. Jahresgang der Grundwassertemperatur - Auswertung durch das Umweltamt Nürnberg
- 5.3.3. Ortsnahe Niederschlagswasserbeseitigung für Neubaugebiete

DR. EBERT, W

Stadt Nürnberg - Referat für Umwelt und Gesundheit - Referat III; Hauptmarkt 18; 90403 Nürnberg

- 5.1.2. Grundwasserschutz durch ökologischen Landbau

GROPP, C.

Stadt Nürnberg - Stadtentwässerung und Umweltanalytik; Adolf-Braun-Straße 33; 90429 Nürnberg

- 5.3.2. Bedeutung und Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens für die Planung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser

HEINEL, A.

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- 5.1.4. PFC-Schadensfall am Flughafen Nürnberg - Vorstellung des Sicherungs- und Sanierungskonzeptes
- 5.1.5. Grundwasserüberwachung im Bereich von Altdeponien
- 5.2.2. Bauvorhaben auf Altlasten- und Altlastenverdachtsflächen

LÖHR, G.; MILNARIK, P.; PATRZEK, A.; TREIBER, G.; VÖCKLER, W.; WAGNER, C.

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- 1.1.3. Schutz, Renaturierung und Entwicklung von grundwassernahen und Feuchtstandorten

MAHR, A.

Stadt Nürnberg - Stadtentwässerung und Umweltanalytik; Adolf-Braun-Straße 33; 90429 Nürnberg

- 3.1.7. Grundwasseruntersuchungen durch die Umweltanalytik der Stadt Nürnberg

MARTENS, M.

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- 1.2. Integriertes Stadtentwicklungskonzept – Gemeinschaftsaufgabe „Nürnberg am Wasser“

DR. PLUSCHKE, P.; DR. KÖPPEL, K.

Stadt Nürnberg - Referat für Umwelt und Gesundheit - Referat III; Hauptmarkt 18; 90403 Nürnberg

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- Vorwort; Zusammenfassung

SPÄTH, A.

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- 3.1.1. Grundwasserbelastungen im Stadtgebiet - nutzungsspezifische Schadstoffeinträge
- 4.2. Aktueller Stand der Nutzung der Geothermie in Nürnberg
- 5.1.3. LCKW-Grundwassersanierungen
- 5.1.6. Ermittlung einer LCKW-Schadstoffausbreitung mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells im Bereich Rangierbahnhof und Ausbesserungswerk Nürnberg
- 5.1.7. Altlasten bei Chemischen Reinigungen – Erfahrungen aus 30 Jahren Schadensfallsachbearbeitung
- 5.2.1. Altlastenrelevanz bei Baumaßnahmen

WEIDIG, A.; LÖHR, G.

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- 1.3.1. Klimawandel – Klimaveränderungen im Stadtgebiet Nürnberg und die Folgen für den Wasserhaushalt
- 1.3.2. Maßnahmen und Handlungsfelder zur Milderung der Klimawandelfolgen

WILPERT, K.

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- 5.2.3. Bauen und Grundwasser
- 5.3.1. Ortsnahe Niederschlagswasserbeseitigung – Sachstand in Nürnberg

LÖHR, G.

Stadt Nürnberg - Umweltamt; Lina-Ammon-Straße 28; 90472 Nürnberg

- Alle weiteren Texte

