



Grundwasserbewirtschaftung und Klimawandel

Handlungsansätze für Planungsträger und Genehmigungsbehörden

REGKLAM-Teilprojekt 3.2.2: Wasserhaushalt Stadt – Umland Produkt 3.2.2 e

Stand vom: 16.08.2013

Bearbeitung: Landeshauptstadt Dresden
Umweltamt
Dr. Kirsten Ullrich



Tel./Fax: 0351/488 6278/9403
E-Mail: KUllrich@dresden.de

REGKLAM

Entwicklung und Erprobung eines Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden (www.regklam.de)

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen: 01 LR 0802

Koordination: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR)
Weberplatz 1, 01217 Dresden
Projektleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. Bernhard Müller

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	4
2. Regionaler Klimawandel und mögliche Auswirkungen auf das Grundwasser in der Modellregion	5
2.1 KLIMAPROJEKTIONEN.....	5
2.2 MODELLIERUNG DER GRUNDWASSERNEUBILDUNG	6
2.3 ÜBERTRAGBARKEIT AUF DIE MODELLREGION.....	9
3. Grundsätze der Grundwasserbewirtschaftung unter den Bedingungen des Klimawandels.....	10
4. Grundwasser und Klimawandel in kommunalen Planungen.....	12
4.1 EXTREME GRUNDWASSERSTÄNDE UND IHRE BERÜCKSICHTIGUNG IN DER BAU- UND BAULEITPLANUNG	12
4.1.1 Berücksichtigung niedriger Grundwasserstände in Planungen.....	12
4.1.2 Umgang mit hohen Grundwasserständen	12
4.1.3 Bauwerke und Grundwasserabfluss	14
4.2 DEZENTRALE NIEDERSCHLAGSWASSERBEWIRTSCHAFTUNG ALS MAßNAHME ZUR STABILISIERUNG DES WASSERHAUSHALTES	16
4.3 GRUNDWASSER UND LANDSCHAFTSPLANUNG – "ÖKOLOGISCHE NETZE".....	17
4.4 BESONDERER SCHUTZ TIEFER GRUNDWASSERLEITER.....	17
5. Wasserrechte für die Entnahme und Nutzung von Grundwasser	18
5.1 KLIMAWANDELVERTRÄGLICHE ENTNAHMEMENGEN UND ÖKOSYSTEMRESERVE	18
5.2 AUSWIRKUNGEN GEÄNDERTER GRUNDWASSERTEMPERATUREN	18
5.3 ANFORDERUNGEN AN DIE BESTIMMTHEIT DER WASSERRECHTLICHEN ERLAUBNIS	19
5.4 ANFORDERUNGEN AN DIE VON ANTRAGSTELLERN VORZULEGENDEN UNTERLAGEN	19
5.4.1 Grundsätzliche notwendige Betrachtungen	20
5.4.2 Zusätzliche Anforderungen für energetische Grundwassernutzungen	21
5.4.3 Anlagenspezifische Unterlagen	21
5.4.4 Zeitliche Befristung von Entnahmen	22
5.5 FLEXIBLE GRUNDWASSERSTANDSABHÄNGIGE STEUERUNG VON ENTNAHMEMENGEN.....	23
6. Kontrolle von Grundwasserstandsentwicklung und -temperatur durch dauerhafte Messnetze	26
7. Schlussfolgerungen.....	27
8. Literatur.....	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Modellregion des Projektes REGKLAM.....	5
Abbildung 2: Simulierte räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung für das Stadtgebiet Dresden auf Grundlage des regionalen Klimamodells WETTREG 2010, Szenario A1B, Lauf 11	7
Abbildung 3: Simulierte räumliche Änderung der Grundwasserneubildung [mm/a] für das Stadtgebiet Dresden für die Zeitscheibe 2021-2050 (links) und für die Zeitscheibe 2071-2100 (rechts) im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990 in Form von Differenzkarten für Lauf 11 des regionalen Klimamodells WETTREG 2010, Szenario A1B	8
Abbildung 4: Vergleich der Niederschlagsentwicklung an der Station Dresden Klotzsche 2008 bis 2010 mit dem mittleren Monatsniederschlag	12
Abbildung 5: Grundwasserstandsentwicklung an der Messstelle 5889 in Dresden-Meußlitz und Einfluss von Hochwasser sowie Niederschlagsmaxima	13
Abbildung 6: Darstellung von Informationen zum Grundhochwasser im Themenstadtplan der Landeshauptstadt Dresden	14
Abbildung 7: Berücksichtigung der unterschiedlichen Gründungstiefen von Bauwerken bei der dreidimensionalen Grundwassermodellierung mit dem „Grundwassermodell Dresden“	15
Abbildung 8: Ausschnitt aus einer synoptischen Grundwasserflurabstandskarte beim Durchgang eines HQ 100 der Elbe in Dresden	16
Abbildung 9: Landschaftsplan Dresden: Strategisches Leitbild „Die kompakte Stadt im ökologischen Netz“	17
Abbildung 10: Bilanzgebiete im pleistozänen Elbtalgrundwasserleiter Dresdens	20
Abbildung 11: Zentrale Kälteversorgung am Neumarkt in Dresden – Lageplan der Überwachungsmessstellen mit definierten Grenzgrundwasserständen	24
Abbildung 12: Grundwasserstandsganglinie der städtischen Grundwassermessstelle 5747, Frauenkirche Dresden	24
Abbildung 13: Grundwassermessstellen des Hochwasserbeobachtungssystems Grundwasser in Dresden	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Befristungszeiträume in Abhängigkeit von Entnahmemenge und -zweck	23
--	----

Titelbild

Elbe in Dresden bei Niedrigwasser (Foto: Michaela Surke)

1. Vorwort

Beobachtete und prognostizierte Klimaänderungen sowie mögliche Anpassungsstrategien waren Gegenstand des Forschungsvorhabens REGKLAM. Auch in der Region Dresden sind Veränderungen bei Durchschnittstemperaturen, Niederschlägen und bei der Häufigkeit extremer Wetterereignisse feststellbar. Wissenschaftliche Modelle liefern Projektionen für zukünftige Zeiträume. Danach nehmen im Sommer Trockenperioden zu, unterbrochen durch seltene, aber lokal heftige Niederschläge. Für den Winter zeigen die Modelle sowohl zunehmende als auch abnehmende Trends. Da durch die Wärme im Sommer mehr Wasser verdunstet, geht das natürliche Wasserangebot zurück. Dies ist nicht nur für die Verfügbarkeit von Wasser als Lebensgrundlage und Lebensraum sensibler Ökosysteme relevant, sondern kann auch zu klimatisch begründeten Nutzungskonflikten und Nutzungsempfängen bei der Grundwasserbewirtschaftung im urbanen Raum führen.

Industrie und produzierendes Gewerbe nutzen wieder verstärkt Grundwasser als Prozess- und Kühlwasser. Eine zunehmende Bedeutung gewinnt die Nutzung des Grundwassers für energetische Zwecke und zur Klimatisierung von Gebäuden. Gründe dafür sind nicht nur steigende Außentemperaturen und gestiegene Ansprüche an ein komfortables Raumklima in Büro- oder Wohngebäuden sondern auch technische Anforderungen an eine konstante Raumtemperatur und -luftfeuchtigkeit wie zum Beispiel zum Schutz wertvoller Kunstschatze oder zur Sicherung der Funktionsfähigkeit empfindlicher Technik. Vor allem in den Sommermonaten ist in längeren Trockenperioden mit einem steigenden Bedarf an Bewässerungswasser zu rechnen.

Mit den Daten der Klimaprojektionen von WETTREG 2010 wurden für das Stadtgebiet Dresden beispielhafte Berechnungen der zu erwartenden Änderungen der Grundwasserneubildung durchgeführt. Die Ergebnisse weisen eine relativ große Bandbreite auf. Für den Zeitraum 2021 – 2050 wurde ein Rückgang der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung im gesamten Stadtgebiet im Vergleich zum Zeitraum 1961 – 1990 um 20 bis 50 % - im Mittel um 35 % - errechnet. Für den Bereich des Elbtalgrundwasserleiters liegt der Rückgang bei etwa 30 %. Für den Zeitraum 2071 – 2100 weisen die ausgewerteten Rechenläufe auf eine Abnahme der Grundwasserneubildung um bis zu 70 % hin. Diese Ergebnisse stellen aufgrund des zugrundeliegenden Modelles WETTREG 2010 ein worst-case Szenario dar. Weil die klimatische Entwicklung von vielen dynamischen Faktoren abhängig ist und die Klimamodelle die tatsächlich ablaufenden Prozesse nur begrenzt abbilden können, bleiben Unsicherheiten, die ihrerseits zu einer der größten Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel werden und bei der Ableitung von Maßnahmen ganz besonders zu beachten sind. Insbesondere sogenannte No-regret-Maßnahmen, die jetzt schon einen Nutzen entfalten, gleichzeitig zukünftige Änderungen aber nicht verhindern, kommen hier in Frage.

Einem zielgerichteten, intelligenten und vernetzten Monitoring der tatsächlich eintretenden Veränderungen sowie robusten und vor allem flexiblen Anpassungsmaßnahmen kommt daher in Bezug auf das Grundwasser eine besonders große Bedeutung zu.

Die errechnete starke Reduzierung der Grundwasservorräte wird die Versorgungssicherheit in Dresden voraussichtlich trotzdem nicht beeinträchtigen. Uferfiltrat und der Zuström aus weniger stark genutzten Bereichen wirken hier ausgleichend. Die Wasserversorgung Dresdens hat auch weiterhin eine sichere Grundlage.

Dennoch sind bereits jetzt und in den Folgejahren erhöhte Anstrengungen zur Verbesserung der Grundwasserneubildungsbedingungen im urbanen Raum zu unternehmen. Wichtige Bausteine können dabei Flächennutzungen mit ausreichend Grün- und Freiflächen sein. Das Niederschlagswasser muss so bewirtschaftet werden, dass die Grundwasserneubildung gefördert wird. Die Versiegelung von Flächen sollte minimiert und wo immer möglich durch wasserdurchlässige Beläge ersetzt werden.

In diesem Handlungsleitfaden werden den kommunalen Planungsträgern und Genehmigungsbehörden einige Ansätze zur Beurteilung der langfristigen Genehmigungsfähigkeit grundwasserwirtschaftlicher Vorhaben unter Berücksichtigung der prognostizierten Effekte des Klimawandels sowie Strategien und Maßnahmen vorgeschlagen, die für den Bereich der Grundwasserbewirtschaftung einen Beitrag zur Anpassung an die sich verändernden Dargebote leisten können.

2. Regionaler Klimawandel und mögliche Auswirkungen auf das Grundwasser in der Modellregion

2.1 Klimaprojektionen

Die zu erwartenden Veränderungen der klimatischen Randbedingungen in der Modellregion Dresden wurden im Rahmen des Projektes REGKLAM umfangreich analysiert und ausgewertet und sind in (Bernhofer, Matschullat & Bobeth, 2011) ausführlich dargestellt. Die nachfolgenden zusammenfassenden Aussagen dieses Abschnittes sind dort entnommen. Die Modellregion ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Lage der Modellregion des Projektes REGKLAM

In der Klimaentwicklung der Modellregion können die globalen Veränderungen bereits derzeit in spezifischer Art und Weise beobachtet werden. Im Zeitraum 1981 - 2010 stiegen die Mitteltemperaturen in der Modellregion im Vergleich zur Referenzperiode 1961 - 1990 im Sommerhalbjahr um 0,7 K und im Winterhalbjahr um 0,4 K.

Die Änderungen der Niederschlagssummen im Sommer- und im Winterhalbjahr sind unerheblich im Vergleich zur Referenzperiode, wobei jedoch der Sommer durch zunehmende Starkniederschläge, unterbrochen durch längere Trockenperioden, gekennzeichnet ist.

Als Grundlage für die Simulation der zukünftig zu erwartenden Veränderungen im Wasserhaushalt wurden im Projekt REGKLAM regionale Klimaprojektionen verwendet. Zur Verfügung standen dabei Projektionen für fünf regionale Klimamodelle unter drei verschiedenen Emissionsszenarien (A1B, B1 und A2), die alle auf dem Globalmodell des MPI-Hamburg (ECHAM5/MPI-OM T63L31; Roeckner et al., 2003, 2006) beruhen. Die Regionalmodelle umfassen dynamisch-physikalische (CLM, REMO) sowie statistische Downscalingansätze (WEREX IV, WETTREG 2006, 2010). Sie haben unterschiedliche räumliche Auflösungen. Die den nachfolgenden Ausführungen zu Grunde liegenden Grundwasserneubildungsberechnungen basieren im Wesentlichen auf dem Modell WETTREG 2010 als statistischem, wetterlagenbasierten Verfahren.

Auf der Grundlage der vorliegenden Klimaprojektionen werden sich die bisher beobachteten Trends in der Modellregion weiter fortsetzen. Die verschiedenen Szenarien unterscheiden sich bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts nur recht geringfügig hinsichtlich der projizierten Klimaentwicklung. Erst zum Ende des 21. Jahrhunderts hin wirken sich die Unterschiede zwischen den verschiedenen Emis-

sionsszenarien stärker aus. Für den zeitnahen Planungshorizont bis 2020 wird deshalb die Nutzung der neuen Klimanormalperiode 1981 - 2010 empfohlen, da die Änderungssignale aus den Klimamodellen für diesen Zeitraum oft kleiner sind, als die bereits beobachteten Änderungen.

Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts muss mit einer deutlichen Temperaturzunahme zwischen 2,5 und 3,5°C gerechnet werden. Im Unterschied zu den bisherigen Beobachtungen ist der projizierte Anstieg im Winterhalbjahr stärker als im Sommerhalbjahr.

Im Hinblick auf die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen sind die Ergebnisse zur zukünftigen Temperaturentwicklung als belastbar einzuschätzen. Vor allem die Wärmebelastung in der Modellregion nimmt bis 2100 deutlich zu. Beispielsweise werden am Ende des Jahrhunderts heiße Tage, an denen die Temperatur auf über 30 °C ansteigt, durchschnittlich an 15 Tagen im Jahr auftreten – im Vergleich zu fünf Tagen in der Periode 1961 - 1990. Einem sinkenden Heizbedarf im Winter steht dann ein vermehrter Kühlbedarf im Sommer gegenüber.

Im Gegensatz zur Temperatur ist die Entwicklung des Niederschlages mit hohen Unsicherheiten behaftet. Hier projizieren die Modelle eher eine Zunahme im Winter und eine Abnahme im Sommer. Nicht alle Läufe der Modelle zeigen jedoch diese Entwicklung; auch gleich bleibender oder zunehmender Sommerniederschlag ist prinzipiell möglich.

Die Beobachtungen der letzten Jahre weisen zusätzlich auf eine Veränderung der sommerlichen Niederschlagscharakteristik hin, mit häufigeren Starkniederschlägen unterbrochen von Trockenperioden. Die Globalstrahlung zeigt eine durch wolkenarme Wetterlagen im Sommerhalbjahr bedingte geringe Zunahme um wenige Prozent. Durch die Temperaturerhöhung und die Zunahme der Globalstrahlung nimmt auch die potentielle Verdunstung im Sommerhalbjahr deutlich zu.

Die Überlagerung der Effekte zunehmender Trockenheit kombiniert mit regional verstärkt auftretenden Starkniederschlägen kann trotz gleichbleibender bzw. steigender Niederschlagssummen angespannte Situationen im Wasserhaushalt hervorrufen. Entsprechend der Trends von Niederschlag und potentieller Verdunstung wird es für die klimatische Wasserbilanz zu deutlichen Veränderungen kommen. Alle verwendeten Klimamodelle projizieren für die Modellregion am Ende des 21. Jahrhunderts im Sommer eine Abnahme der klimatischen Wasserbilanz um 90 mm im Mittel für die gesamte Modellregion. Da die Modellregion - und damit dieser Mittelwert - auch das deutlich niederschlagsreichere Erzgebirge mit umfasst, sind für das Tiefland noch deutlich größere Rückgänge zu erwarten. Diese starken Rückgänge haben enorme Auswirkungen auf das Wasserdargebot und demzufolge auf die Grundwasserneubildung.

2.2 Modellierung der Grundwasserneubildung

Die Berechnungen der Grundwasserneubildung wurden beispielhaft für das Stadtgebiet von Dresden mit dem quasi-zwei-dimensionalen konzeptionellen Bodenwasserhaushaltsmodell BOWAM (Dunger, 2007) durchgeführt und basieren auf dem Modell WETTREG 2010 als statistischem, wetterlagenbasierten Verfahren. Die Datengrundlage für die Modellierung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Grundwasserneubildung für das Stadtgebiet von Dresden unter zukünftigen klimatischen Randbedingungen bilden ausgewählte WETTREG 2010-Stationen der REGKLAM-Klimadatenbank und das Emissionsszenario A1B. Für das Emissionsszenario A1B wurden drei Läufe (Lauf 11, Lauf 55 und Lauf 77) aus dem Ensemble von zehn Läufen auf Basis der berechneten klimatischen Wasserbilanz für die Klimastation Dresden-Klotzsche für die Zeitscheibe 2021 - 2050 ausgewählt. Dabei handelt es sich bei Lauf 11 um einen „mittleren“ Lauf, bei Lauf 55 um einen „trockenen“ Lauf und Lauf 77 ist ein „feuchter Lauf“. Die Ergebnisse weisen aufgrund der benannten Unsicherheiten bei den Eingangsdaten eine relativ große Bandbreite auf. Für die Zeitscheibe 2021 - 2050 (mittlerer Planungshorizont) wurde ein Rückgang der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung im gesamten Stadtgebiet im Vergleich zum Zeitraum 1961 - 1990 um 20 bis 50 % - im Mittel um 35 % - errechnet. Für den Bereich des pleistozänen Elbtalgrundwasserleiters liegt der errechnete Rückgang bei etwa 30 %. Für den Zeitraum 2071 - 2100 (langfristiger Planungshorizont) weisen alle ausgewerteten Rechenläufe auf eine Abnahme der Grundwasserneubildung um bis zu 70 % hin. Bei der Bewertung und Einordnung dieser Berechnungsergebnisse sowie für die Ableitung von Maßnahmen sind jedoch die weiter unten aufgeführten Besonderheiten des im Projekt verwendeten Klimamodells WETTREG 2010 unbedingt zu beachten.

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Grundwasserneubildungsmodellierung mit WETTREG 2010 für das gesamte Stadtgebiet Dresden für den „mittleren“ Lauf 11 beispielhaft dargestellt.

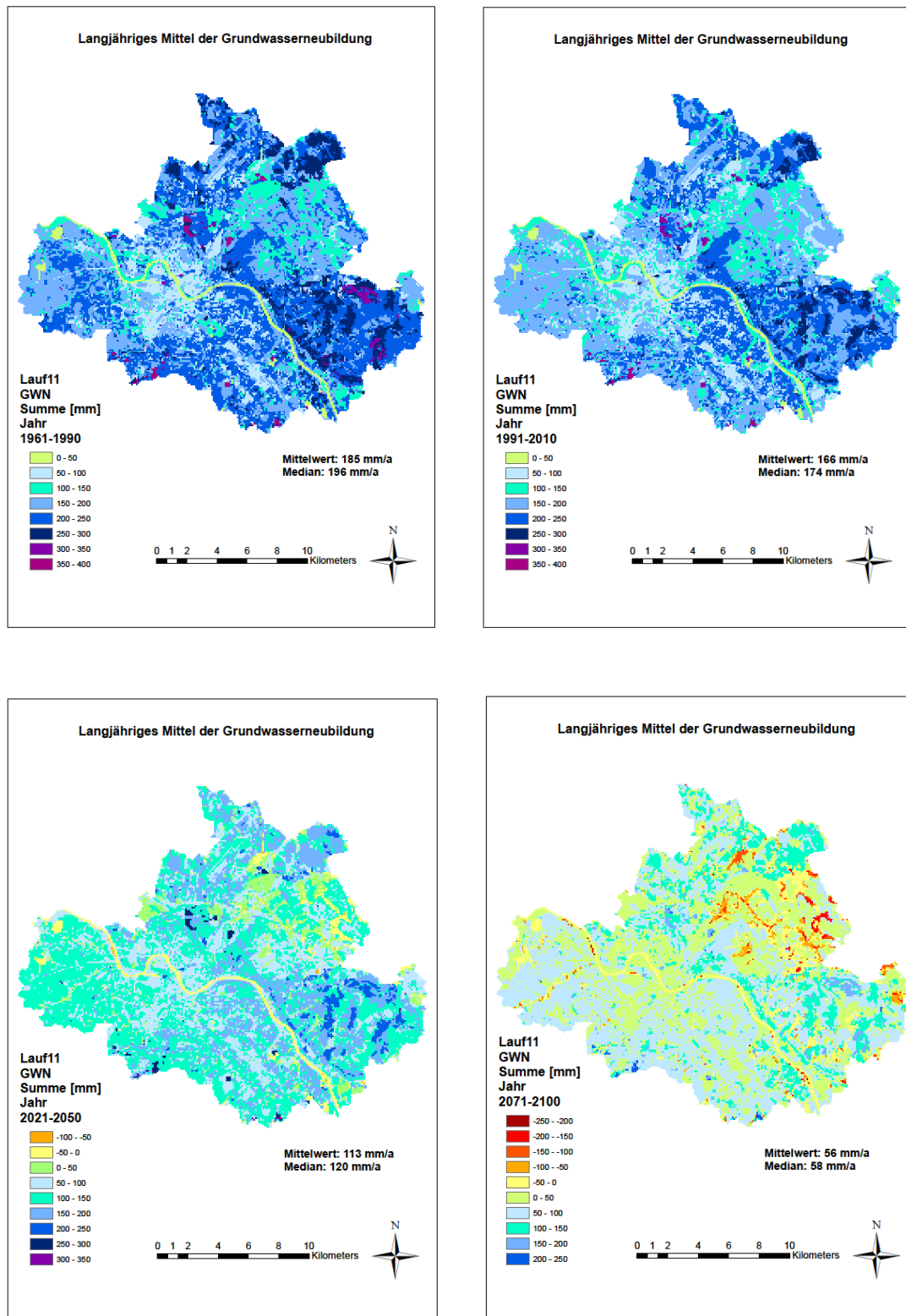


Abbildung 2: Simulierte räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung für das Stadtgebiet Dresden auf Grundlage des regionalen Klimamodells WETTREG 2010, Szenario A1B, Lauf 11 (Tesch, S., Dunger, V., & Matschullat, J., 2013)

Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, treten bei den ersten beiden Zeitscheiben (1961 - 1990, 1991 - 2010) nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich der berechneten Grundwasserneubildung auf. Für die Referenzperiode 1961 - 1990 beträgt das langjährige Mittel der Grundwasserneubildung (arithmetisches Mittel aller Rasterzellen) 185 mm/Jahr und für den Ist-Zustand (1991 - 2010) 186 mm/Jahr. Die Grundwasserneubildungswerte liegen dabei zwischen 0 und 400 mm/Jahr. Diese unterschiedlichen Grundwasserneubildungswerte treten aufgrund der unterschiedlichen Standortbedingungen der einzelnen Modellrasterzellen auf. Eine ausführliche Darstellung der Datengrundlagen sowie der für die Berechnung angewandten Methoden findet sich in (Tesch S., 2013).

Für den mittelfristigen (2021 - 2050) und den längerfristigen (2071 - 2100) Planungshorizont sieht die Situation ganz anders aus. Hier wird eine starke Abnahme der Grundwasserneubildung errechnet. Im Zeitraum 2021 - 2050 beträgt die projizierte Abnahme der Grundwasserneubildung für Lauf 11 im Mittel etwa -70 mm und für den Zeitraum 2071 - 2100 im Mittel sogar -130 mm.

Das langjährige Mittel der Grundwasserneubildung schwankt für die Zeitscheibe 2021 - 2050 zwischen -100 und 350 mm/Jahr und für die Zeitscheibe 2071 - 2100 werden Grundwasserneubildungswerte zwischen -250 und 250 mm/Jahr modelliert.

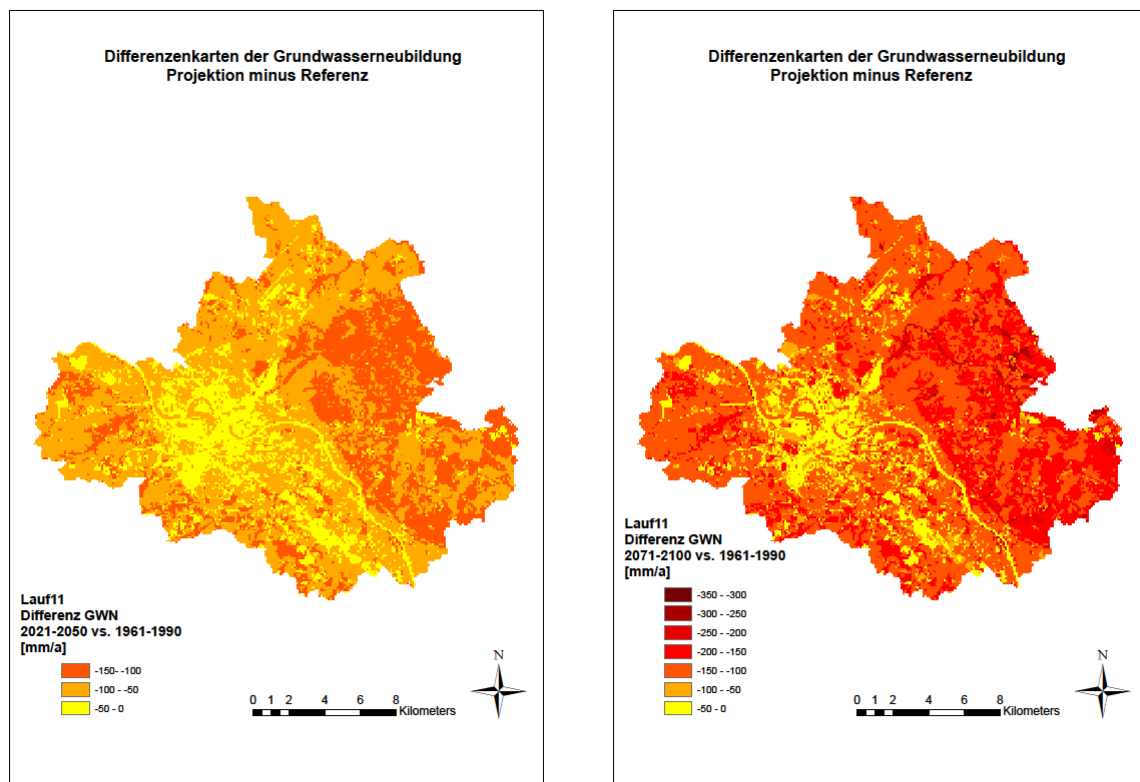


Abbildung 3: Simulierte räumliche Änderung der Grundwasserneubildung [mm/a] für das Stadtgebiet Dresden für die Zeitscheibe 2021 - 2050 (links) und für die Zeitscheibe 2071 - 2100 (rechts) im Vergleich zur Referenzperiode 1961 - 1990 in Form von Differenzkarten für Lauf 11 des regionalen Klimamodells WETTREG 2010, Szenario A1B (Tesch, S., Dunger, V., & Matschullat, J., 2013)

Wie in Abbildung 3 veranschaulicht wird, schwankt die ermittelte Änderung der Grundwasserneubildung für das Stadtgebiet Dresden als Differenz zwischen der simulierten mittleren jährlichen Grundwasserneubildung für 2021 - 2050 und 1961 - 1990 zwischen 0 und -200 mm/a sowie für 2071 - 2100 und 1961 - 1990 zwischen 0 und -350 mm/a.

Diese drastischen Rückgänge der Grundwasserneubildung sind auf eine höhere Verdunstung vor allem zum Ende des 21. Jahrhunderts hin und auf die bei dem Modell WETTREG 2010 starken Rückgänge der Jahresniederschläge zurückzuführen. Im Unterschied zu anderen regionalen Klimamodellen wie REMO oder CLM weist WETTREG 2010 für die Winterniederschläge zum Ende des 21.

Jahrhunderts hin ein gegensätzliches Verhalten auf. Während die meisten anderen Modelle leicht ansteigende bzw. gleich bleibende Niederschlagssummen projizieren, treten bei allen Läufen von WETTREG 2010 trockene Niederschlagsbedingungen auf. Der simulierte Rückgang der Niederschläge ist bei WETTREG 2010 in den Wintermonaten teilweise sogar ausgeprägter als in den Sommermonaten, was sich auf die Summen der Jahresniederschläge und den Wasserhaushalt auswirkt (Hänsel, S., & Hoy, A., 2013).

Der während der Sommermonate entleerte Bodenwasservorrat kann demzufolge in den Wintermonaten nicht vollständig wiederaufgefüllt werden, so dass bei WETTREG 2010 ein enormer Rückgang des Wasserdargebotes zu verzeichnen ist. Das regionale Klimamodell WETTREG 2010 stellt daher eine Art Worst-Case-Szenario hinsichtlich zukünftiger Niederschlagsbedingungen dar. Die Ergebnisse der Grundwasserneubildungsmodellierung sind aufgrund der Nutzung von nur diesem einen Regionalklimamodell daher nur eingeschränkt aussagekräftig.

Im Rahmen dieser Arbeit war die Einbeziehung anderer Klimamodelle in die Auswertungen nicht möglich. Sie wird für spätere Betrachtungen allerdings dringend empfohlen. Zusätzlich sollte dabei neben einem statistischen Regionalklimamodell zukünftig noch ein weiteres Regionalklimamodell bzw. besser noch ein dynamisches Regionalmodell verwendet werden. Außerdem werden die Beobachtung der tatsächlichen Entwicklung sowie die Fortschreibung der Berechnungen auf der Grundlage neuer Klimaprojektionen in der Zukunft für die Beurteilung der Entwicklung der Grundwasserneubildung eine besonders große Bedeutung haben.

2.3 Übertragbarkeit auf die Modellregion

Im Rahmen des Projektes REGKLAM stand die Modellregion Dresden (vgl. Abbildung 1) insgesamt im Blickpunkt der Betrachtungen. Besonders in urbanen Gebieten, wo aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsansprüche und der fortschreitenden Flächeninanspruchnahme der Anteil an befestigten und damit versiegelten Flächen stetig wächst und die natürlichen Gegebenheiten immer weiter verändert werden, stellt die Bestimmung der Grundwasserneubildung jedoch eine besondere Herausforderung dar. In diesen urbanen Zentren ist die Situation aufgrund der klimatologischen sowie morphologischen Besonderheiten und durch die Überlagerung verschiedener Nutzungsansprüche besonders komplex.

Angaben über die Menge an neugebildetem Grundwasser sind hier auch wichtig für die Frage, inwiefern bestehende Nutzungsansprüche nicht nur für die Trinkwasserversorgung sondern auch für Brauchwasserzwecke auch in der Zukunft unter klimatisch bedingten Veränderungen noch gewährleistet werden können.

Die in der Projektbearbeitung durchgeführten Berechnungen erfordern eine Vielzahl von Eingangsparametern sowie möglichst bereits geeichte Grundwassermodelle für die Grundwasserstandsberechnungen. In der Modellregion standen die erforderlichen Grundlagen lediglich für die Stadt Dresden zur Verfügung bzw. konnten aus vorhandenen Informationen abgeleitet und aufbereitet werden. Die Grundwasserneubildungs- und die Grundwasserstandsmodellierungen beschränken sich aus diesen Gründen auf das Stadtgebiet Dresden.

Die grundsätzlich gewonnen Erkenntnisse zum methodischen Vorgehen sowie die in diesem Bericht zusammengestellten Handlungsansätze lassen sich jedoch auf die gesamte Modellregion übertragen.

3. Grundsätze der Grundwasserbewirtschaftung unter den Bedingungen des Klimawandels

Den Rechtsrahmen für die Bewirtschaftung des Grundwassers setzen die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sowie das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und die Wassergesetze der Länder. Die Ziele der WRRL beinhalten vor allem den Schutz und die Verbesserung des Zustandes der Gewässer einschließlich des Grundwassers und aquatischer Ökosysteme sowie der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt. Eine Verschlechterung des Zustandes der Wasserkörper soll vermieden werden. Die nachhaltige Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen sollen gefördert und die Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren gemindert werden. Außerdem sollen Schadstoffeinleitungen in die Gewässer schrittweise minimiert werden.

Hinsichtlich der Grundwasserkörper sind die Mitgliedsstaaten aufgefordert,

- die Einleitung von Schadstoffen in das Grundwasser zu verhindern oder zu begrenzen und eine Verschlechterung des Zustandes aller Grundwasserkörper zu verhindern,
- sie zu schützen, zu verbessern und zu sanieren (chemischer Zustand) sowie ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und -neubildung zu gewährleisten (mengenmäßiger Zustand),
- alle signifikanten und anhaltenden Trends einer Steigerung der Konzentration von Schadstoffen aufgrund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umzukehren und so die Verschmutzung des Grundwassers schrittweise zu reduzieren.

Die konkreten rechtlichen Regelungen zum Schutz des Grundwassers finden sich in den bundes- und landesrechtlichen Vorschriften der Wassergesetze. Das Grundwasser ist demnach nachhaltig zu bewirtschaften mit dem Ziel,

- die Funktions- und Leistungsfähigkeit als Bestandteil des Naturhaushaltes und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu erhalten und zu verbessern,
- Beeinträchtigungen auch im Hinblick auf den Wasserhaushalt der direkt vom Grundwasser abhängigen Landökosysteme und Feuchtgebiete zu vermeiden und unvermeidbare, nicht nur geringfügige Beeinträchtigungen so weit wie möglich auszugleichen,
- eine Nutzung zum Wohl der Allgemeinheit und im Einklang damit auch im Interesse Einzelner zu ermöglichen,
- bestehende oder künftige Nutzungsmöglichkeiten für die öffentliche Wasserversorgung zu erhalten oder zu schaffen und
- den möglichen Folgen des Klimawandels vorzubeugen.

Mit wenigen Ausnahmen ist für die Benutzung des Grundwassers deshalb grundsätzlich eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich.

Grundwasserwirtschaftliche Vorhaben, die der Überwachung und Steuerung durch die Wasserbehörden unterliegen, sind in erster Linie die Benutzungen des Grundwassers, wie sie in § 9 des Wasserhaushaltsgesetzes aufgeführt sind. Unmittelbare Benutzungen im Sinne dieses Gesetzes (sogenannte echte Nutzungstatbestände) sind das Entnehmen, Zutage fördern, Zutage leiten und Ableiten von Grundwasser sowie das Einbringen und Einleiten von Stoffen in Gewässer.

Als Benutzungen gelten aber auch das Aufstauen, Absenken und Umleiten von Grundwasser durch Anlagen, die hierfür bestimmt oder geeignet sind sowie alle Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen (sogenannte unechte Nutzungstatbestände).

Die wasserrechtliche Erlaubnis (§ 11 WHG) gewährt das Recht, das Grundwasser für einen bestimmten Zweck und in einem bestimmten Umfang zu benutzen. Sie gibt jedoch keinen Anspruch auf Zufluss von Wasser in einer bestimmten Menge oder Beschaffenheit.

Die wasserrechtliche Beurteilung von Eingriffen in das Grundwasser ist besonders schwierig, da die Auswirkungen nicht direkt sichtbar sind. Grundsätzlich darf eine Erlaubnis bereits dann nicht erteilt werden, wenn die Besorgnis besteht, dass eine nachteilige Veränderung der Beschaffenheit eintreten kann (Besorgnisgrundsatz), die nicht durch Nebenbestimmungen verhindert werden kann. Solche Nebenbestimmungen können unter anderem Auflagen zur regelmäßigen Überprüfung der Grundwasserbeschaffenheit oder –temperatur sein.

Der beobachtete und prognostizierte Klimawandel wird auch in Mitteleuropa Auswirkungen auf den globalen und regionalen Wasserhaushalt haben. Der Grad der Auswirkungen und mögliche Anpassungsstrategien waren Gegenstand des Forschungsvorhabens REGKLAM.

Entsprechend der vorgenannten Bewirtschaftungsgrundsätze ist den möglichen Auswirkungen des Klimawandels bereits jetzt bei der Bewirtschaftung des Grundwassers vorzubeugen.

4. Grundwasser und Klimawandel in kommunalen Planungen

4.1 Extreme Grundwasserstände und ihre Berücksichtigung in der Bau- und Bauleitplanung

4.1.1 Berücksichtigung niedriger Grundwasserstände in Planungen

Die Klimaprojektionen zeigen zumindest für die fernere Zukunft für die Region Dresden einen deutlichen Rückgang der Grundwasserneubildung an. In diesem Zusammenhang muss nach dem Jahr 2050 nach derzeitigem Kenntnisstand auch mit einem dauerhaften Rückgang der Grundwasserstände gerechnet werden. Das kann zum einen dazu führen, dass Entnahmen aus dem Grundwasser nur in einem geringeren Umfang erlaubt werden können oder aber zeitlich begrenzt werden müssen (siehe auch Abschnitt 5.5).

Zum anderen können niedrige Grundwasserstände auch für Bauwerke zu einer Gefährdung führen. Dies gilt insbesondere dann, wenn derzeit dauerhaft wasserführende setzungsempfindliche Schichten in den Grundwasserwechselbereich gelangen oder aber gänzlich trocken fallen. Auf Planer und Baugrundgutachter kommt deshalb künftig stärker die Verantwortung zu, in die Begutachtung der Setzungsempfindlichkeit von Baugrundsichten auch das Risiko sinkender Grundwasserstände einzubeziehen.

4.1.2 Umgang mit hohen Grundwasserständen

Niedrige Grundwasserstände sind nicht die einzige potentielle Folge der Klimaveränderungen. Die Untersuchungen sowie die bereits beobachteten Veränderungen zeigen, dass insbesondere Starkniederschlagsereignisse deutlich zunehmen können. Dadurch werden auch gehäuft extreme Abflussverhältnisse und Hochwasserereignisse in den Gewässern erwartet. Bei Hochwasser kann es zu einem erheblichen Ansteigen der Grundwasserstände (s. unten) und zu einer Änderung der Grundwasserfließverhältnisse kommen (Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt, 2005).

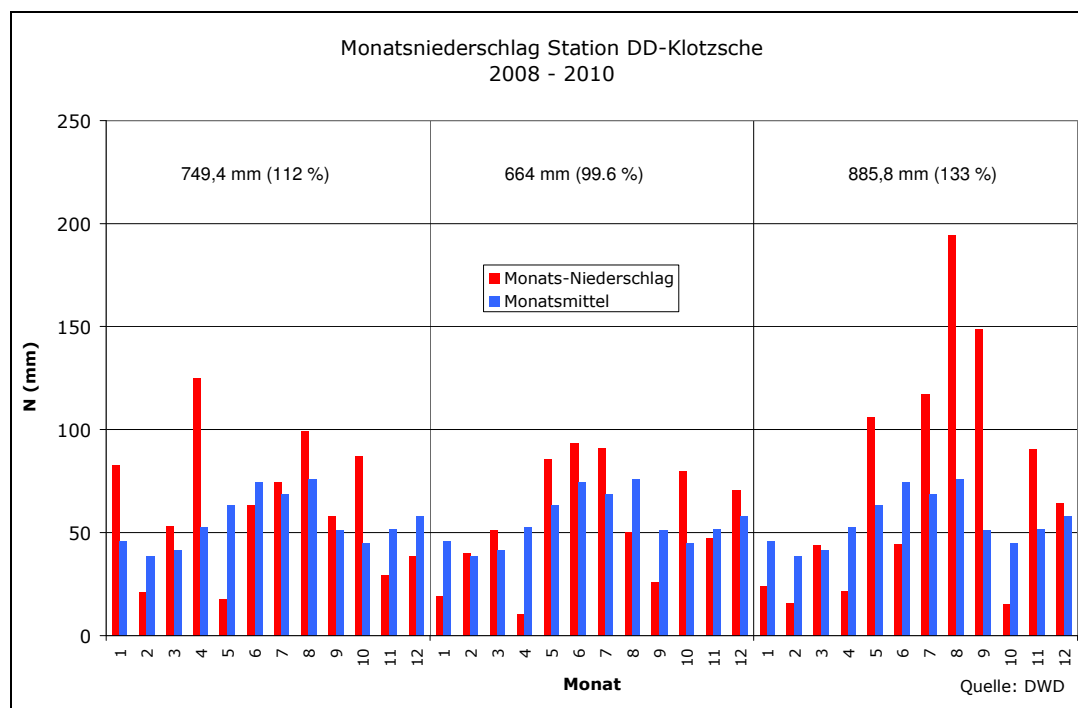


Abbildung 4: Vergleich der Niederschlagsentwicklung an der Station Dresden Klotzsche 2008 bis 2010 mit dem mittleren Monatsniederschlag (Sommer, T., & Ullrich, K., 2013)

Außerdem können Witterungssituationen, wie sie beispielsweise im extrem feuchten Sommer 2010 bereits beobachtet worden sind, künftig häufiger auftreten. Die Beobachtung der Messstellen im

Stadtgebiet, aber auch in ganz Sachsen hat gezeigt, dass dies zu erhöhten Grundwasserständen führen kann, die in Planungen zukünftig stärker zu beachten sein werden.

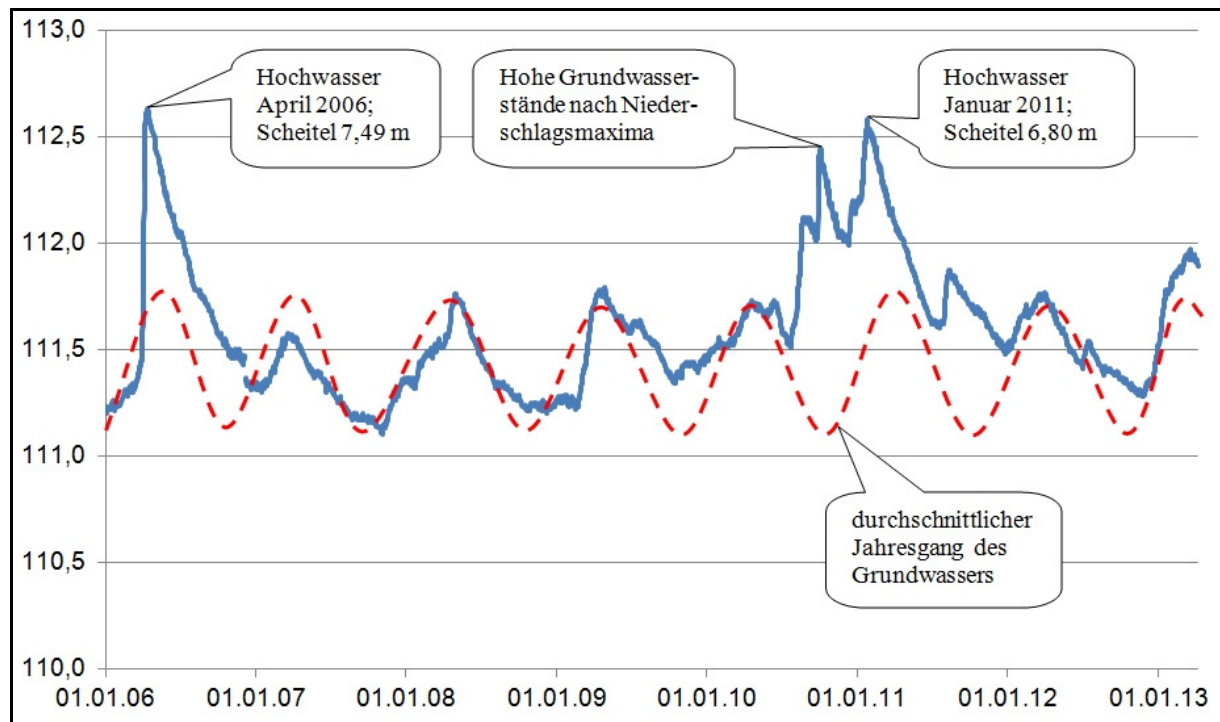


Abbildung 5: Grundwasserstandsentwicklung an der Messstelle 5889 in Dresden-Meußnitz und Einfluss von Hochwasser sowie Niederschlagsmaxima

Bei der Aufstellung von Bauleitplänen sind insbesondere die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse zu sichern. Dabei ist durch die Bauleitplanung Vorsorge dafür zu tragen, dass die zu errichtenden Gebäude keinem unvermeidbaren Risiko durch Vernässung oder nachhaltige geomechanische Prozesse wie Setzungen, Rutschungen usw. ausgesetzt werden. Hohe Grundwasserstände mit ihren möglichen Auswirkungen auf Wohn-, Gewerbe- und öffentliche Gebäude sind deshalb bereits in kommunalen Planungen besonders zu beachten.

Durch geeignete Flächenvorsorge soll vermieden werden, dass sich gegenüber Grundhochwasser empfindliche Nutzungen in grundhochwassergefährdeten Gebieten entwickeln bzw. sich ein bereits vorhandenes Schadenpotenzial weiter vergrößert.

In alle Bauleitpläne, die durch Grundhochwasser betroffen sein können, soll deshalb zumindest ein Hinweis auf die Gefährdung aufgenommen werden, damit Planer und Bauausführende unabhängig von der Verpflichtung des Planers zur korrekten Ermittlung der Bemessungshochwasserstände auf die besondere Situation hingewiesen werden. Sind für geplante Bauflächen im Plangebiet temporär oder dauerhaft Grundwasserflurabstände von weniger als 1 m zu erwarten, sollte grundsätzlich auf eine Bebauung ohne Keller orientiert werden.

Während bei dauerhaft geringen Grundwasserflurabständen die daraus resultierenden Risiken Bauherren und Planern meist bekannt sind und in der Planung eine angemessene Berücksichtigung finden können, gilt dies für hochwasserinduzierte hohe Grundwasserstände oftmals nicht. Architekten und Planer nehmen das Nichtantreffen von Grundwasser während der Baugrunduntersuchung vielfach als Beleg für eine dauerhafte Grundwasserfreiheit des Untergrundes.

Auch bei Nachbarn und Mietern schwindet trotz potentieller oder bereits tatsächlicher Betroffenheit durch Grundhochwasser die Sensibilisierung für die Thematik mit zunehmendem Zeitabstand zu einem Hochwasserereignis schnell. Befragungen im Rahmen des Projektes MULTISURE (DGFZ, 2012) haben gezeigt, dass bereits sieben Jahre nach dem Ereignis von 2002 ein Drittel der Befragten in dem in Dresden während des Hochwassers 2002 von Grundhochwasser betroffen gewesenen Gebiet, nicht weiß, ob unter dem von ihnen bewohnten Haus Grundwasser anzutreffen ist.

Insofern kommt hier nicht nur der Bauleitplanung sondern auch der Information und Kommunikation eine vorsorgende Funktion zu.

Eine geeignete Form der Darstellung derartiger Informationen bieten webbasierte Lösungen, wie beispielsweise der Themenstadtplan der Landeshauptstadt Dresden. Hier werden alle grundwasserbezogenen Informationen für die großen Hochwasserereignisse der vergangenen Jahre zusammengefasst und anwenderfreundlich dargestellt.

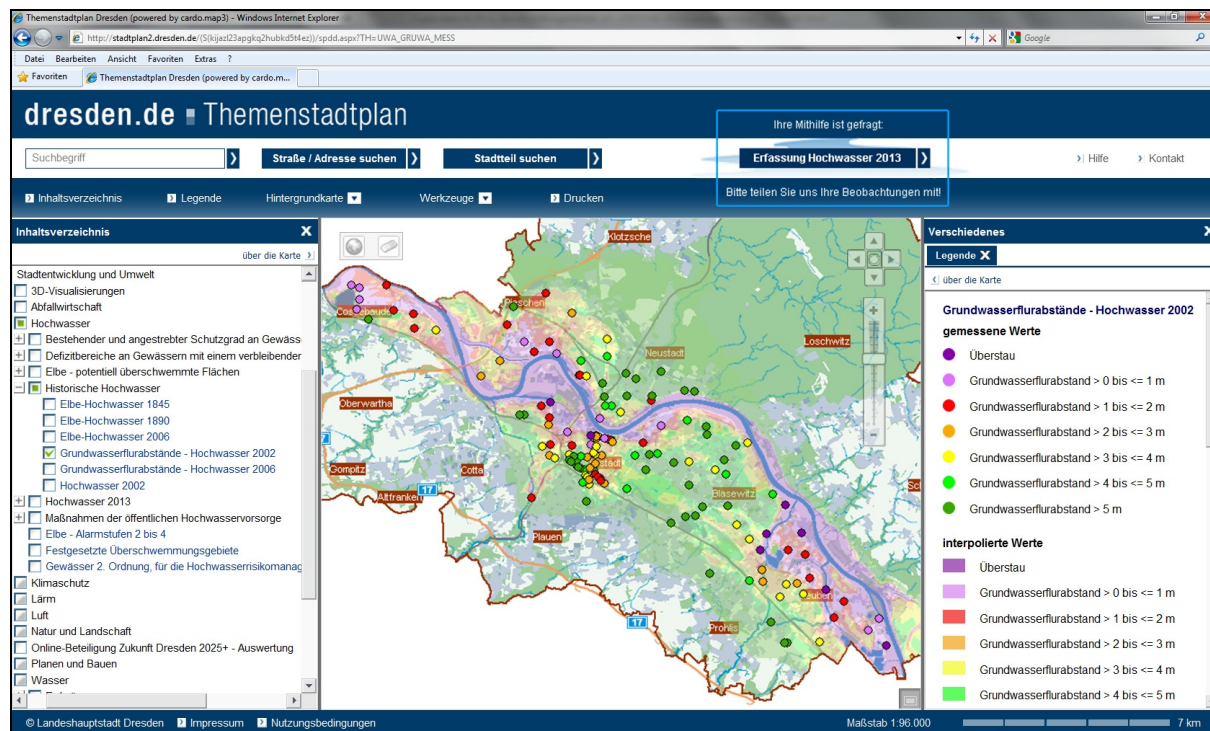


Abbildung 6: Darstellung von Informationen zum Grundhochwasser im Themenstadtplan der Landeshauptstadt Dresden

4.1.3 Bauwerke und Grundwasserabfluss

Baumaßnahmen im Untergrund reichen in der Modellregion, insbesondere im Elbtal, oft bis in das Grundwasser hinein. Schon bei der Planung von Bauvorhaben muss deshalb nicht nur der Schutz des Bauwerkes vor dem Grundwasser angemessen beachtet werden. Auch der Schutz des Grundwassers vor den Auswirkungen von Bebauung ist gesetzlich vorgeschrieben. Nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) ist das Grundwasser flächendeckend vor Verunreinigungen und sonstigen nachteiligen Veränderungen seiner Eigenschaften zu schützen. Bei Baumaßnahmen im Grundwasser dürfen deshalb keine Schadstoffe freigesetzt werden. Der Untergrund soll außerdem nicht so stark verbaut werden, dass der freie Durchfluss des Grundwassers behindert wird.

Unterirdische Bauwerke oder Bauwerksteile wie Tunnel, Tiefgeschosse, Tiefgaragen oder unterirdische Ver- oder Entsorgungsanlagen, können einerseits von Grundhochwasser betroffen sein und in diesem Fall den Gesamtbestand eines Bauwerkes gefährden sowie andererseits selbst als Hindernisse auf das Grundwasserströmungsregime einwirken. Deshalb ist bereits durch die Planung auch Vorsorge dafür zu treffen, dass ausreichende Abflussverhältnisse des Grundwassers gewährleistet bleiben.

Neu entstehende Bauwerke dürfen hierbei vor allem in dicht bebauten urbanen Zentren nicht isoliert betrachtet werden, sondern sind immer im Zusammenhang mit der bereits vorhandenen und der noch geplanten Tiefbebauung zu prüfen. Diese Untersuchungen erfordern in aller Regel den Einsatz eines numerischen Strömungssimulationsmodelles. In Dresden steht dafür das besonders für die Zwecke der Bauleitplanung entwickelte dreidimensionale instationäre „Grundwassermodell Dresden“ zur Verfügung.

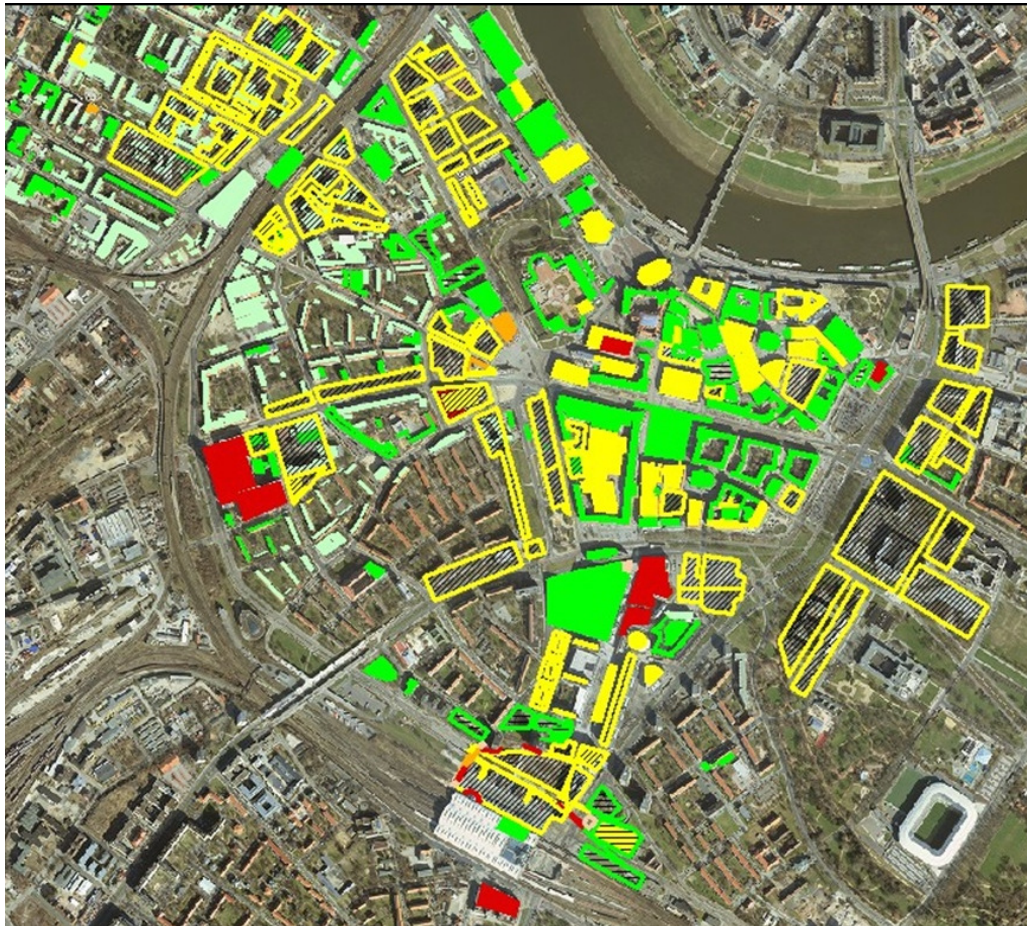


Abbildung 7: Berücksichtigung der unterschiedlichen Gründungstiefen von Bauwerken bei der dreidimensionalen Grundwassermodellierung mit dem „Grundwassermodell Dresden“

Die durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen erfordern bei der Beurteilung derart dauerhafter und in den meisten Fällen auch langfristig irreversibler Eingriffe wie unterirdischer Bauwerke eine besondere Berücksichtigung. Sie sollten insbesondere bei der Generierung der Anfangsrandbedingungen für eine Modellierung der Grundwasserstände entsprechend beachtet werden.

In Aquiferen, die mit größeren Fließgewässern interagieren - wie zum Beispiel im pleistozänen Hauptgrundwasserleiter in Dresden - werden die Grundwasserstände bei Hochwasserereignissen in erster Linie durch den Flusswasserstand bestimmt. Dabei kann es zu einem erheblichen Ansteigen der Grundwasserstände und einer Änderung der Grundwasserfließverhältnisse kommen (Landeshauptstadt Dresden, 2005).

Für die Beurteilung der Auswirkungen unterirdischer Bebauung auf die Grundwasserströmung und die Bestimmung eventuell erforderlicher Reduzierungen oder Ausgleichsmaßnahmen wie Düker ist deshalb die Betrachtung von mittleren Verhältnissen nicht ausreichend. Hier sind immer auch die Hochwasserverhältnisse zu beachten.

Bei der Auswertung der simulierten Grundwasserstände ist jedoch nicht der Scheitel des Durchganges der Hochwasserwelle als maßgeblicher Betrachtungspunkt zu wählen, sondern es ist eine synoptische Ausweisung der während und nach dem Durchgang der Hochwasserwelle auftretenden höchsten Grundwasserstände vorzunehmen.

Synoptische Pläne zeigen keinen Stichtagszustand, sondern bilden den jeweils maximalen oder minimalen in einem Modellelement auftretenden Wasserstand unabhängig vom Zeitpunkt des Auftretens ab (Beispiel siehe Abbildung 8).

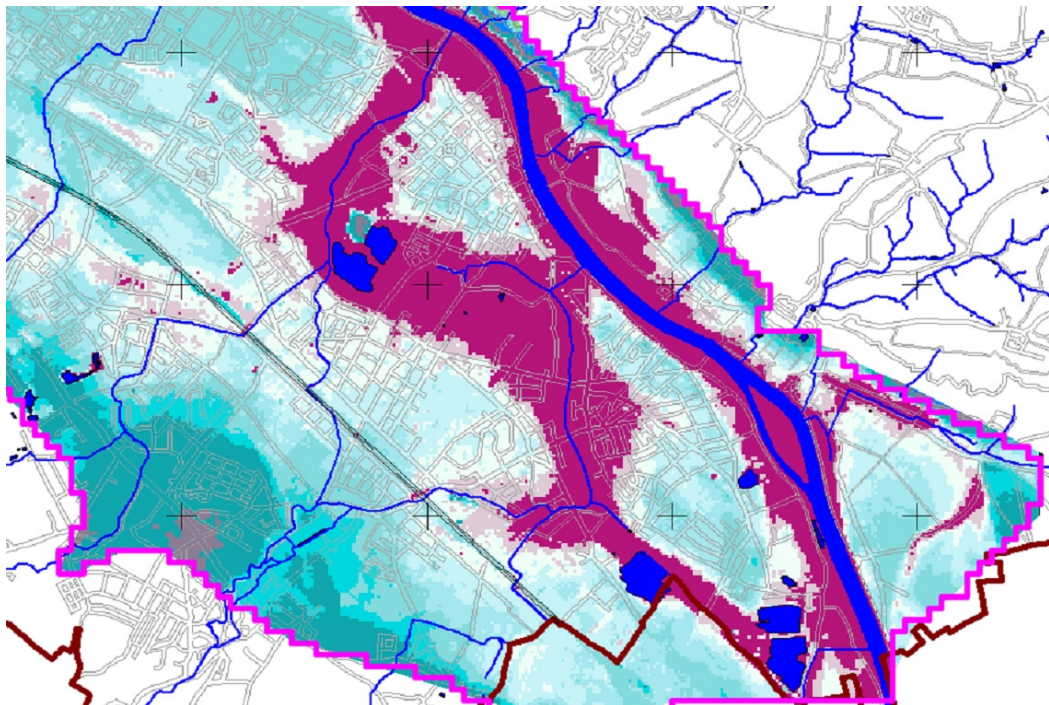


Abbildung 8: Ausschnitt aus einer synoptischen Grundwasserflurabstandskarte beim Durchgang eines HQ 100 der Elbe in Dresden

4.2 Dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftung als Maßnahme zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes

Das Grundwasser ist auch zukünftig eine wichtige Grundlage der Trink- und Brauchwasserversorgung in der Modellregion. Bestimmend für die Menge des neugebildeten Grundwassers sind zunächst meteorologische Größen, vor allem Niederschlagsentwicklung, Temperatur und Verdunstungsrate. Während ein Einfluss auf diese natürlichen Randbedingungen allenfalls im Rahmen von langfristigen Klimaschutzstrategien denkbar ist, stehen besonders im besiedelten Bereich für die Anpassung an den bereits beobachteten Klimawandel weitere Optionen zur Verfügung.

Wesentliche anthropogene Randbedingungen für die Grundwasserneubildung sind die Flächenversiegelung und der Umgang mit dem anfallenden Niederschlagswasser. Da sich der prognostizierte Abnahmetrend der Grundwasserneubildung nach 2050 aller Voraussicht nach verstärken wird, sind bereits jetzt und in den Folgejahren erhöhte Anstrengungen zur Verbesserung der Grundwasserneubildungsbedingungen im urbanen Raum zu unternehmen. Das Niederschlagswasser soll deshalb so bewirtschaftet werden, dass die Grundwasserneubildung gefördert wird. Wichtige Bausteine können dabei Flächennutzungen mit ausreichend Grün- und Freiflächen sein. Die Versiegelung von Flächen sollte minimiert und wo immer möglich durch wasserdurchlässige Beläge ersetzt werden.

Bei Bebauungsvorhaben wird in Dresden bereits seit Mitte der neunziger Jahre konsequent auf die Umsetzung einer naturnahen Niederschlagsbewirtschaftung hingewirkt. Wenn ein baulicher Eingriff selbst nicht vermieden werden kann, gilt das Gebot, zumindest die Folgen des Eingriffs zu minimieren. Dabei ist es ein vorrangiges Ziel, den natürlichen Wasserkreislauf durch eine naturnahe Niederschlagswasserbewirtschaftung zu erhalten oder wieder herzustellen. Dieser Bewirtschaftung liegt der Gedanke zugrunde, die Wasserhaushaltsgrößen oberirdischer Abfluss und Versickerung durch die bauliche Inanspruchnahme einer Fläche möglichst wenig zu verändern und planerisch geeignete Entwässerungssysteme zu konzipieren, die dem natürlichen Verhältnis von Versickerung, Verdunstung und Abfluss möglichst nahe kommen.

4.3 Grundwasser und Landschaftsplanung – „ökologische Netze“

Mit der Landschaftsplanung und der vorbereitenden Bauleitplanung stellen die Kommunen bereits heute die Weichen in der Stadtplanung für die Strukturen, mit denen die künftigen Generationen unter den veränderten Rahmenbedingungen leben und wirtschaften müssen. Das strategische Leitbild, das dem Dresdner Landschaftsplan zugrunde liegt, ist „Die kompakte Stadt im ökologischen Netz“: Die aufgrund der historisch gewachsenen Struktur Dresdens noch immer ablesbaren und zum Teil abgegrenzten Stadtteile und Ortslagen sollen maßvoll so verdichtet werden, dass eine effiziente Ver- und Entsorgung möglich ist. Diese verdichteten Siedlungsräume sind eingebettet in ein Netzwerk von „multifunktionalen“ Grünräumen (Korndörfer, 2012).

Diese multifunktionalen grünen Stadträume sollen durch Ergänzungskorridore miteinander verbunden sein und bilden so das „ökologische Netz“ der Stadt. Sie dienen mit unterschiedlichen Schwerpunkten wichtigen Umweltfunktionen, insbesondere der Verbesserung des Stadtklimas und der Aufenthaltsqualität, sie gestalten die Stadtlandschaft abwechslungsreich, geben Bürgern die Möglichkeit zur Naherholung und sind Lebensräume und Wanderungskorridore für Pflanzen- und Tierarten. Auf Grund der zu einem großen Teil unversiegelten Flächen dienen sie gleichermaßen der Grundwasserneubildung und der Niederschlagswasserversickerung. In vielen Fällen verlaufen sie entlang von städtischen Gewässern. Dort tragen sie im Hochwasserfall zur Verzögerung des Abflusses bei und reduzieren damit den Scheitel. Mit dem Weißeritzgrünzug wurde in Dresden bereits ein solcher multifunktionaler ökologischer Grünzug geschaffen.

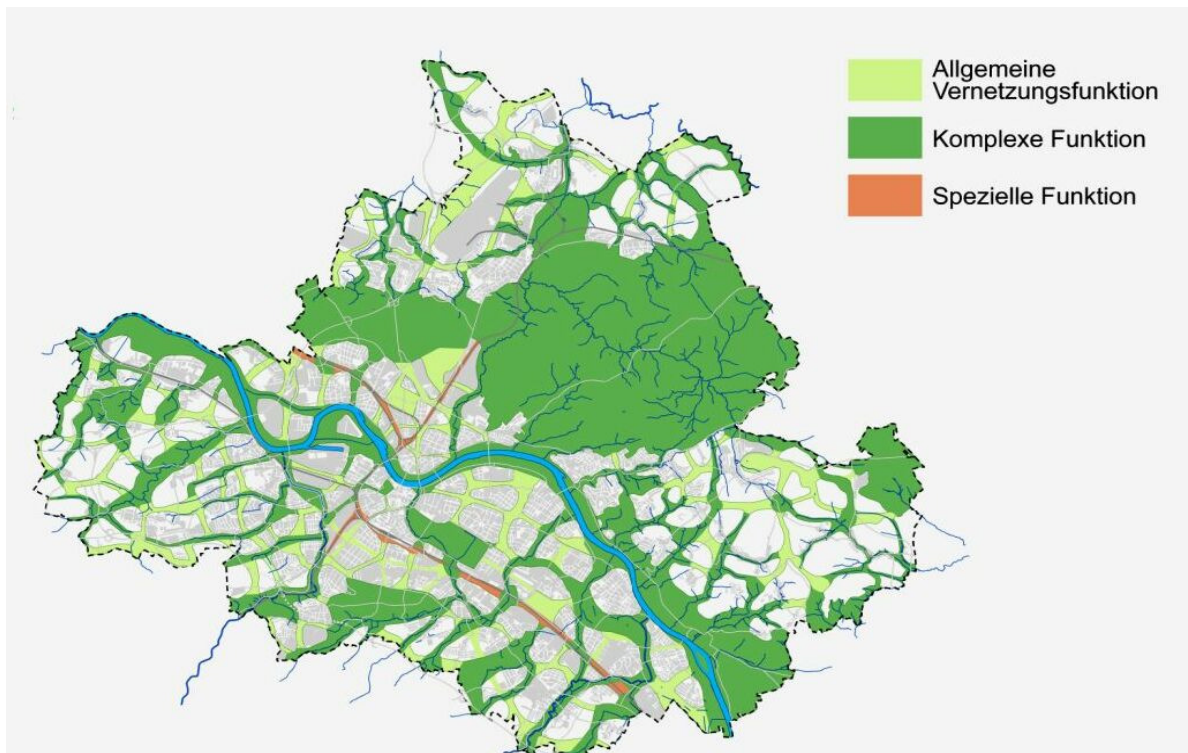


Abbildung 9: Landschaftsplan Dresden: Strategisches Leitbild „Die kompakte Stadt im ökologischen Netz“

4.4 Besonderer Schutz tiefer Grundwasserleiter

Während oberflächennahe Grundwasserleiter auf geänderte Grundwasserneubildungsverhältnisse schnell reagieren, können sich tiefe Grundwasserleiter wie beispielsweise der kretazische Grundwasserleiter in Teilen der Modellregion nach Eingriffen aufgrund der räumlich begrenzten Neubildungsgebiete nur langsam regenerieren. Hier ist es besonders wichtig, die langfristigen Folgen einer geplanten Nutzung ausreichend genau vorherzubestimmen, um eine Übernutzung zu vermeiden. Grundsätzlich sollten tiefere Grundwasserleiter als Reservereservoir betrachtet und ihre Nutzung auf Extremsituationen beschränkt werden.

5. Wasserrechte für die Entnahme und Nutzung von Grundwasser

5.1 Klimawandelverträgliche Entnahmemengen und Ökosystemreserve

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie verpflichtet die Mitgliedsstaaten für das Grundwasser langfristig einen „guten mengenmäßigen und beschaffenheitsseitigen Zustand“ sicherzustellen. Die zuständigen Wasserbehörden haben dieses Ziel bei der Bewirtschaftung des Grundwasserhaushaltes und insbesondere auch bei der Erteilung neuer wasserrechtlicher Erlaubnisse zur Grundwasserentnahme für eine zielgerichtete Nutzung zu beachten. Langfristig darf dabei die Summe der Grundwasserentnahmen die neu gebildete Grundwassermenge nicht überschreiten.

Treffen mehrere Anträge auf Grundwasserentnahmen zusammen, die sich auch dann nicht nebeneinander ausüben lassen, wenn ihnen nur teilweise oder unter Bedingungen oder Auflagen stattgegeben wird, so hat das Vorhaben den Vorrang, das den größten Nutzen für das Wohl der Allgemeinheit erwarten lässt. Die öffentliche Wasserversorgung aus dem Grundwasser genießt dabei nach dem Sächsischen Wassergesetz den Vorrang vor allen anderen Nutzungen des Grundwassers.

Neben der aktuellen Nutzungssituation ist auch den zukünftig zu erwartenden wasserhaushaltlichen Veränderungen in ausreichendem Maße Rechnung zu tragen. Besonders zu beachten sind dabei die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt.

Wie sich die prognostizierten Veränderungen des Klimas auf die zukünftig verfügbaren Grundwasserangebote auswirken werden, ist jedoch derzeit noch nicht ausreichend sicher vorhersehbar. Während die Grundwasserneubildung in den Sommermonaten zum Erliegen kommen wird, sind die Auswirkungen der Änderung der Winterniederschläge in Kombination mit der zu erwartenden Erhöhung der frostfreien Tage im Winter und damit die Gesamtbilanz derzeit noch nicht sicher quantifizierbar. Bis 2050 wird für Dresden jedoch mit einem Rückgang der Grundwasserneubildung und damit des verfügbaren Angebotes um etwa 35 % im Jahresmittel gerechnet.

Deshalb ist denkbar, dass derzeit noch genehmigungsfähige Entnahmemengen zukünftig das erneuerbare Dargebot übersteigen und damit in Widerspruch zu den Zielen der EU-WRRL stehen könnten.

Da die wasserbezogenen Zukunftsprojektionen gegenüber anderen Klimafaktoren deutlich größere Unsicherheiten aufweisen und die kumulierenden Effekte von aufeinanderfolgenden Trockenjahren noch wenig abschätzbar sind, soll bei Entnahmeerlaubnissen zukünftig in der Wasserbilanzbetrachtung eine **Ökosystemreserve** in Höhe von **20 % der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung** berücksichtigt werden.

Bereits nach jetziger Rechtslage kann die Wasserbehörde von einem Benutzer des Grundwassers fordern, dass entnommenes Grundwasser nach der Benutzung wieder dem Untergrund zugeführt wird. Besonders bei thermisch genutztem Grundwasser kann die Re-Infiltration technisch zwar aufwendiger sein als das Abschlagen des Grundwassers in einen Vorfluter, andererseits aber auch einen wesentlichen Beitrag zur Schonung der Grundwasservorräte leisten. Die Re-Infiltration sollte daher künftig der Regelfall sein.

Um eine unzulässige Aufheizung des Grundwassers dabei möglichst zu vermeiden, sollte erwärmtes Wasser vor der Re-Infiltration durch intelligente technische Lösungen beispielsweise zur Warmwasserbereitung genutzt werden.

5.2 Auswirkungen geänderter Grundwassertemperaturen

Die thermische Nutzung von Grundwasser hat im letzten Jahrzehnt einen großen Aufschwung erlebt. Mit Grundwasserwärmepumpen kann der Wärmeinhalt des Grundwassers als regenerative Energiequelle für Heiz- und Kühlzwecke genutzt werden. Für die Zukunft ist aufgrund der prognostizierten Erhöhung der Sommertemperaturen mit einem erheblichen Anstieg insbesondere des Kühlbedarfes von Gebäuden zu rechnen und ein erhöhter daraus resultierender Nutzungsdruck auf die Ressource Grundwasser zu erwarten.

Die Effizienz des Anlagenbetriebes einer Grundwasserwärme- oder -kältegewinnung hängt in hohem Maße von der möglichen Temperaturspreizung ab. Der für Sachsen derzeit im Entwurf vorliegende Leitfaden „Grundwasserwärmepumpen - Merkblatt zu Bau und Betrieb“ nennt als Grenzen für zulässige Einleittemperaturen die Ober- bzw. Untergrenzen von 20 °C bzw. 5 °C. Bei einer Durchschnittstemperatur des Grundwassers von derzeit etwa 10 bis 12 °C lassen sich damit Anlagen mit einer Temperaturspreizung von etwa 4 °C erfolgreich betreiben.

Auch wenn die vorhandenen Klimaprojektionen teilweise noch große Unsicherheiten aufweisen, lassen sich einige klimatische Entwicklungen in der Zukunft mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit erwarten. Dazu gehört vor allem der zu erwartende globale Temperaturanstieg, der auch in Sachsen nach jetzigem Kenntnisstand zu einem Anstieg der mittleren Lufttemperatur bis 2100 um etwa 2 bis 3 °C führen wird (Bernhofer, Matschullat & Bobeth, 2011). Da die Temperatur des oberflächennahen Grundwassers deutlich von der Lufttemperatur beeinflusst wird, ist besonders bei geringen Grundwasserflurabständen mit einer Zunahme der mittleren Grundwassertemperatur zu rechnen. Besonders wichtig erscheint es unter diesem Aspekt, bei geplanten Anlagen zur energetischen Grundwassernutzung, insbesondere bei größeren Klimatisierungsanlagen, den Temperaturgang im Laufe des Jahres detailliert zu erheben, um ausreichend sichere Grundlagendaten für die Planung der Anlagen zugrunde legen zu können.

5.3 Anforderungen an die Bestimmtheit der wasserrechtlichen Erlaubnis

Im wasserrechtlichen Erlaubnisverfahren legen die Behörden sowohl die zulässigen Entnahmemengen und die zugehörigen Entnahmezeiträume als auch Nebenbestimmungen wie Befristungen und Auflagen zur Überwachung fest. Im Sinne einer umfassenden Rechtssicherheit muss aus der wasserrechtlichen Erlaubnis klar hervorgehen, welche Gesamtmenge und welche Teilmengen in Teilzeiträumen in Anspruch genommen werden dürfen. In der Erlaubnis sollten deshalb, wie es derzeit bereits bewährte Praxis ist, die nachfolgenden Größen festgeschrieben werden.

- Durchschnittliche Tagesentnahmemenge $Q_{D, 365}$ (m^3/d) (Ermittlung: gesamte Jahresmenge/ 365)
- Maximale Tagesentnahmemenge $Q_{D,max}$ (m^3/d) (gewinnbar für maximal 7 Tage)
- Jahresgesamtentnahmemenge Q_a (m^3/a)
- Beginn und Ablaufzeitpunkt der Nutzungserlaubnis

Für saisonal unterschiedliche Entnahmemengen, wie sie zum Beispiel bei Bewässerungswasser oder auch bei energetischer Nutzung häufig vorkommen, sollen zusätzlich folgende Größen mit dem jeweiligen Zeitbezug festgelegt werden:

- Dauer des Entnahmeintervalls mit Anfangs- und Enddatum, Anzahl der Tage mit Entnahme
- Durchschnittliche Tagesmenge im Entnahmeintervall $Q_{D,Intervall}$ (m^3/d)
(Ermittlung: Fördermenge im Entnahmeintervall / Anzahl der Tage des Entnahmeintervalls)

In einer Erlaubnis können auch mehrere Intervalle mit unterschiedlichen Entnahmemengen festgelegt werden

5.4 Anforderungen an die von Antragstellern vorzulegenden Unterlagen

Die von Antragstellern im wasserrechtlichen Erlaubnisverfahren vorzulegenden Unterlagen bestimmen sich in Sachsen nach den Regelungen des Sächsischen Wassergesetzes sowie den VwV Planvorlagen. Die Antragsunterlagen müssen alle für das Vorhaben selbst sowie für seine Auswirkungen, insbesondere auf den Wasserhaushalt, die Gewässerqualität und andere Umweltbereiche relevanten Angaben enthalten.

Bereits im Sächsischen Wassergesetz ist geregelt, dass vom Antragsteller vor der Benutzung des Grundwassers auch ein Gutachten über die Auswirkungen der Grundwasserbenutzung auf den

Wasser- und Naturhaushalt gefordert werden kann. Dabei ist immer auf die Verhältnismäßigkeit der Planvorlage zu Bedeutung und Art des Vorhabens zu achten.

5.4.1 Grundsätzliche notwendige Betrachtungen

Grundsätzlich sind die Auswirkungen des Vorhabens zu betrachten hinsichtlich

- des Wasserhaushaltes im Einzugsgebiet der beantragten Entnahme,
- des Einflusses auf die unterirdische Bausubstanz im Einzugsgebiet der Entnahme/Einleitung,
- des Einflusses auf andere, bereits vorhandene Nutzungen,
- möglicherweise betroffener Naturgüter, insbesondere grundwasserabhängige Ökosysteme.

Im Rahmen des Gutachtens sollen nicht nur die Auswirkungen der beantragten Grundwasserbenutzung selbst, sondern müssen auch die kumulierenden Wirkungen mit anderen Grundwassernutzungen betrachtet werden. Für die Bewertung des Wasserhaushaltes ist dabei das jeweilige Bilanzgebiet zugrunde zu legen.

Für den pleistozänen Grundwasserleiter Dresdens wurden die Bilanzgebiete auf der Grundlage der aktuellen Nutzungssituation sowie unter Beachtung der erteilten Wasserrechte neu ausgegrenzt und bilden die Basis für die Beurteilung zukünftiger wasserrechtlicher Anträge (Abbildung 10).

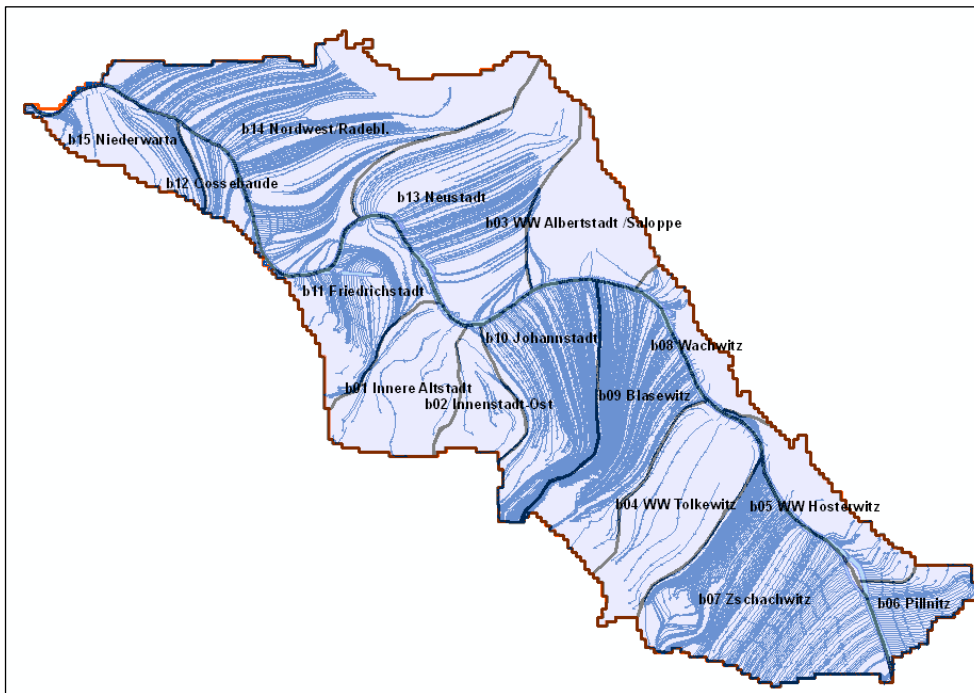


Abbildung 10: Bilanzgebiete im pleistozänen Elbtalgrundwasserleiter Dresdens

Neben der Darstellung durchschnittlicher Wirkungen müssen die Auswirkungen auf die Grundwaserdynamik bei Entnahmen auch für Trockenperioden und bei Einleitungen auch für Perioden mit Grundhochwasser dargestellt werden. Mit dem Gutachten ist nachzuweisen, dass eine beantragte Nutzung auch bei $Q_{D,max}$ nicht zu einer Übernutzung des Grundwasserdargebots oder zu schädlichen Zuständen, wie extrem niedrigen oder hohen Grundwasserständen führt. Im Zweifelsfall sind alternative Varianten auszuarbeiten.

Der Einfluss der Klimawandels ist dabei zu berücksichtigen. Das bedeutet konkret, dass für Prognosen auch „worst case“ Berechnungen hinsichtlich minimaler Dargebotssituationen durchzuführen sind. Außerdem ist die oben genannte Ökosystemreserve in Höhe von 20 % des mittleren Dargebotes in die Betrachtungen einzubeziehen.

5.4.2 Zusätzliche Anforderungen für energetische Grundwassernutzungen

Für energetische Grundwassernutzungen sind darüber hinaus Betrachtungen zum Einfluss der energetischen Nutzung auf den Wärmehaushalt des Grundwassers vorzulegen. Hierbei sind bestehende Anlagen und die Ausgangstemperatur des Grundwassers zu berücksichtigen. Für Anlagen mit einer Entnahmemenge $> 5 \text{ m}^3/\text{h}$ sind detaillierte Wärmetransportmodellierungen unter Beachtung der Wechselwirkung mit bereits bestehenden Anlagen beizufügen.

Mit dem Gutachten ist ebenfalls der Nachweis zu erbringen, dass die Anlagenkonfiguration das Optimum für das jeweilige Grundstück darstellt und die Ressource Grundwasser nicht unnötig beansprucht wird. Dies wäre der Fall, wenn durch eine nicht optimale Positionierung der Entnahme- und Infiltrationsbrunnen ein großer Teil des eingeleiteten Wassers vom Entnahmehrunden „eingefangen“ wird und es durch Kurzschlussströmung zu einer Verminderung des Wirkungsgrades der Anlage kommt.

Für die Ermittlung der Ausgangsgrundwassertemperatur sind standortkonkrete Temperaturmessungen durchzuführen, die mindestens über den Zeitraum eines halben Jahres, idealerweise eines ganzen Jahres den Temperaturgang des Grundwassers erfassen. Dabei ist auch der Temperaturentwicklung über die Tiefe ausreichend Beachtung zu schenken.

Immer wieder führt gerade im urbanen Raum die unzureichende Betrachtung des Grundwasserchemismus zu schwerwiegenden Anlagenproblemen bis hin zur völligen Funktionsunfähigkeit von Anlagen. In den Antragsunterlagen ist deshalb der Grundwasserchemismus auf der Basis eines Langzeitpumpversuches (mindestens 8 Stunden) zu dokumentieren und hinsichtlich der langfristigen Anlagenfunktionsfähigkeit zu bewerten.

5.4.3 Anlagenspezifische Unterlagen

Mit dem Antrag sind Unterlagen einzureichen, die die geplante Anlage zur Grundwassernutzung umfassend beschreiben. Hierzu sind mindestens anzugeben:

- Lage und geplanter Ausbau aller Entnahme und Infiltrationsbrunnen
- Geplante Entnahmemengen differenziert wie in Punkt 5.3 beschrieben
- Geplante Temperaturänderung des zu infiltrierenden Wassers

Nach der Erstellung der Anlage sind diese Angaben zu ergänzen durch:

- Eingemessene Koordinaten und Messpunkt-Höhe aller Brunnen und ggf. Messstellen (Bezug zum Landeskoordinaten- und Höhensystem),
- Brunnenausbaudaten (Bohrdurchmesser, Material, Radius des Filter- und Vollrohres, Filterober- und Unterkante, Filterlänge),
- Dokumentation von Bohrprofil und Schichtenverzeichnis
- Ergebnisse des Pumpversuchs und
- Ergebnisse der Grundwasseranalyse(n)

Der Betrieb von Anlagen, die mehr als ein Einfamilienhaus mit Wärme oder Kälte versorgen, ist durch den Betreiber der Anlage umfassend zu überwachen und zu dokumentieren. Die Dokumentation des Anlagenbetriebs, welche der Anlagenbetreiber jährlich vorzulegen hat, muss mindestens enthalten:

- tatsächliche Entnahme- und Infiltrationsmengen in ihrem zeitlichen Verlauf (mindestens monatliche Werte für kleine Anlagen, für große Nutzungen kontinuierliche Überwachung)
- bei Wasserwärmepumpen zusätzlich Angaben zur Temperaturspreizung (Temperaturen des entnommenen und wieder eingeleiteten Grundwassers)
- entzogene Wärmemenge
- Überwachung der Grundwassertemperatur im Umfeld der Anlage (mindestens im Abstrom)

5.4.4 Zeitliche Befristung von Entnahmen

Die Auswirkungen geplanter Entnahmen in Relation zum in der Zukunft langfristig verfügbaren Dargebot sind derzeit noch nicht ausreichend sicher vorhersehbar. Diesen Randbedingungen müssen die Wasserbehörden bereits jetzt bei der Erteilung von Erlaubnissen im Rahmen des Bewirtschaftungsermessens ausreichende Beachtung schenken.

Als Instrument ist hier die Befristung der Erlaubnis besonders geeignet. Die Befristung einer Entnahme ist eine typische Maßnahme, die künftige Anpassungsoptionen erleichtert und jederzeit umkehrbar ist. Der Unternehmer kann sich auf das Erlöschen der Erlaubnis bei Fristablauf von vornherein einrichten. Sind keine nachteiligen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu verzeichnen oder ist der Kenntnisstand hinsichtlich der zu erwartenden Veränderungen der Dargebote weiter vorangeschritten, kann jederzeit eine Verlängerung der Befristung erfolgen.

Für die Ordnung des Wasserhaushaltes bietet die Befristung andererseits den Vorteil, dass es für den Ablauf der Benutzungsbefugnis keines besonderen mit Rechtsmitteln angreifbaren Verwaltungsaktes bedarf und die Zulassung danach automatisch neu geprüft werden muss (Czychowski & Reinhart, 2010).

Die Bemessung der Frist muss sich an den Belangen des Allgemeinwohls orientieren und auch dem Ausgleich der Interessen der Beteiligten dienen. Über die Bemessung der Frist gibt es in Sachsen keine gesetzlichen Vorschriften. Nach dem Brandenburgischen Wassergesetz ist eine Erlaubnis in der Regel auf 15 Jahre zu befristen. In der Rechtsprechung wurden 1977 20 Jahre als Höchstgrenze dessen angesehen, was unter dem Gesichtspunkt des Vertrauensschutzes vertretbar erscheint (Siedler, Zeitler, Dahme, & Knopp, 2012). Unter den oben erläuterten Randbedingungen des Klimawandels sind die Behörden jedoch gut beraten, insbesondere für Gebiete, in denen eine Verknappung der Wasservorräte zu erwarten ist, eine kürzere Befristung festzusetzen.

Gleichzeitig ist für die Bemessung der Frist der Grundsatz des Übermaßverbotes zu beachten. Die Befristung muss zur Erreichung des angestrebten Zweckes deshalb nicht nur geeignet, sondern auch erforderlich sein, d. h. eine Erreichung des angestrebten Zweckes darf nicht auf weniger belastende Weise ebenso gut erreichbar sein. Eine zu kurze Befristung widerspricht ebenfalls den allgemeinen verwaltungsrechtlichen Grundsätzen. Beispielsweise sind jährliche „Kettenverwaltungsakte“, die nur der Fortschreibung eines Rechtes dienen, nicht zulässig.

Bei unbedeutenden Benutzungen sollte die Frist genügend lang bemessen sein, da die Erneuerung zahlreicher Erlaubnisse später hohen Verwaltungsaufwand bedeutet (Siedler, Zeitler, Dahme, & Knopp, 2012). Für die Beurteilung der Bedeutsamkeit einer Entnahme wird der Einfluss über das unmittelbare Umfeld der Fassung hinaus zugrunde gelegt. Bei Anlagen mit einer Entnahmemenge von $< 50 \text{ m}^3/\text{d}$ im Lockergestein und $< 20 \text{ m}^3/\text{d}$ im Festgestein ist ein Einfluss über das unmittelbare Umfeld der Fassung hinaus in der Regel nicht zu erwarten.

Für durchschnittliche Verhältnisse im Bereich des Dresdner Hauptgrundwasserleiters liegt die Absenkung dabei in einer Entfernung von 25 m bei ca. 3 cm und damit in der Größenordnung der Messgenauigkeit. Diese Grenzen werden auch zur Beurteilung der Erlaubnisfreiheit für vom Zweck her privilegierte Vorhaben herangezogen und sind daher in Sachsen bereits eingeführt.

Für die Modellregion werden auf Grund der unter dem Einfluss des Klimawandels möglichen Veränderungen der Wasserhaushaltssituation bei Erteilung neuer oder Anpassung „alter“ Wasserrechte zukünftig grundsätzlich folgende Befristungen vorgesehen:

Tabelle 1: Befristungszeiträume in Abhängigkeit von Entnahmemenge und -zweck

Zweck	Anlagenart	Entnahmemenge und -ort		Befristung
		Ergiebige Grundwasserleiter (z. B. pleistozäne Hauptgrundwasserleiter)	Wenig ergiebige, lokale Grundwasserleiter, Festgestein	
öffentliche Wasser- und Energieversorgung				25 Jahre
Hochwasserentlastung				20 Jahre
private Nutzung	neue Anlagen	< 50 m ³ /d	< 20 m ³ /d	15 Jahre
private Nutzung	bereits vorhandene Anlagen mit alter (meist unbefristeter) Erlaubnis	< 50 m ³ /d	< 20 m ³ /d	20 Jahre
private Nutzung	neue Anlage	> 50 m ³ /d	> 20 m ³ /d	10 Jahre
private Nutzung	bereits vorhandene Anlagen mit alter (meist unbefristeter) Erlaubnis	> 50 m ³ /d	> 20 m ³ /d	15 Jahre
private Nutzung	neue Anlagen mit besonders großem Investitionsumfang	> 50 m ³ /d	> 20 m ³ /d	Interessenabwägung (Zielgröße: 15 Jahre)
Private Nutzung	Energetische Grundwassernutzung zur Wärmegewinnung mit Re-Infiltration	> 50 m ³ /d	> 20 m ³ /d	25 Jahre
private Nutzung	neue und bestehende Anlagen	< 2000 m ³ /a	< 2000 m ³ /a	vorwiegend erlaubnisfrei, alternativ 15 Jahre

Die Tabelle kann dabei als grundsätzliche Richtlinie für die Bewertung der Umstände des Einzelfalles dienen. Sofern diese Umstände, beispielsweise durch Kumulation verschiedener Nutzungsansprüche auf engem Raum oder besonders schwer vorhersehbare Auswirkungen auf Grundwasserbilanz oder –beschaffenheit es erforderlich machen, können auch kürzere Befristungen festgelegt werden.

5.5 Flexible grundwasserstandsabhängige Steuerung von Entnahmemengen

Bei abnehmenden Grundwasserdargeboten im Zuge des Klimawandels wird ein gleichzeitig steigender Bedarf an Wasserentnahmen für Klimatisierung im urbanen Raum und für die landwirtschaftliche Bewässerung in landwirtschaftlich geprägten Gebieten prognostiziert. Außerdem werden im Jahresverlauf zukünftig stärkere natürliche Schwankungen der Grundwasserstände zu erwarten sein.

Sind die Grundwasserstände jahreszeitlich aufgrund geringer Neubildung bereits niedrig, so können auch Entnahmemengen, die das mittlere Dargebot nicht überschreiten und deshalb im Jahres-

durchschnitt grundsätzlich unbedenklich sind, zu temporär unverträglich niedrigen Grundwasserständen führen. Die Festlegung ortsbezogener Grenzgrundwasserstände, die nicht unterschritten werden dürfen, ist ein Mittel, um sensible Bebauung oder empfindliche Ökosysteme zu schützen.

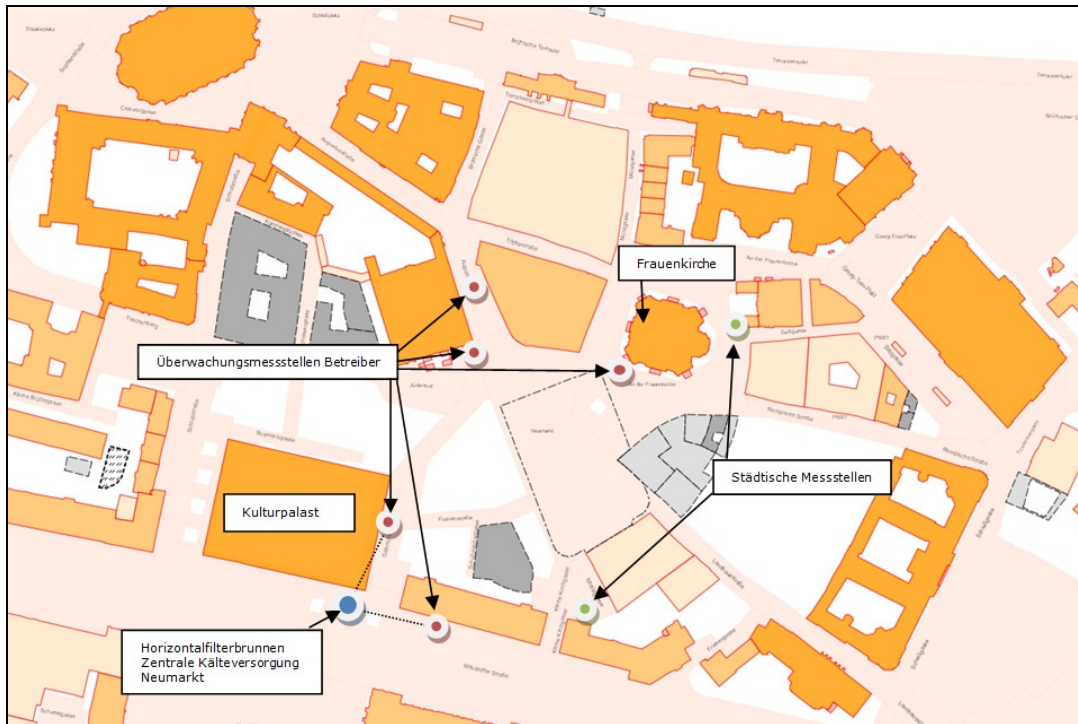


Abbildung 11: Zentrale Kälteversorgung am Neumarkt in Dresden – Lageplan der Überwachungsmessstellen mit definierten Grenzgrundwasserständen

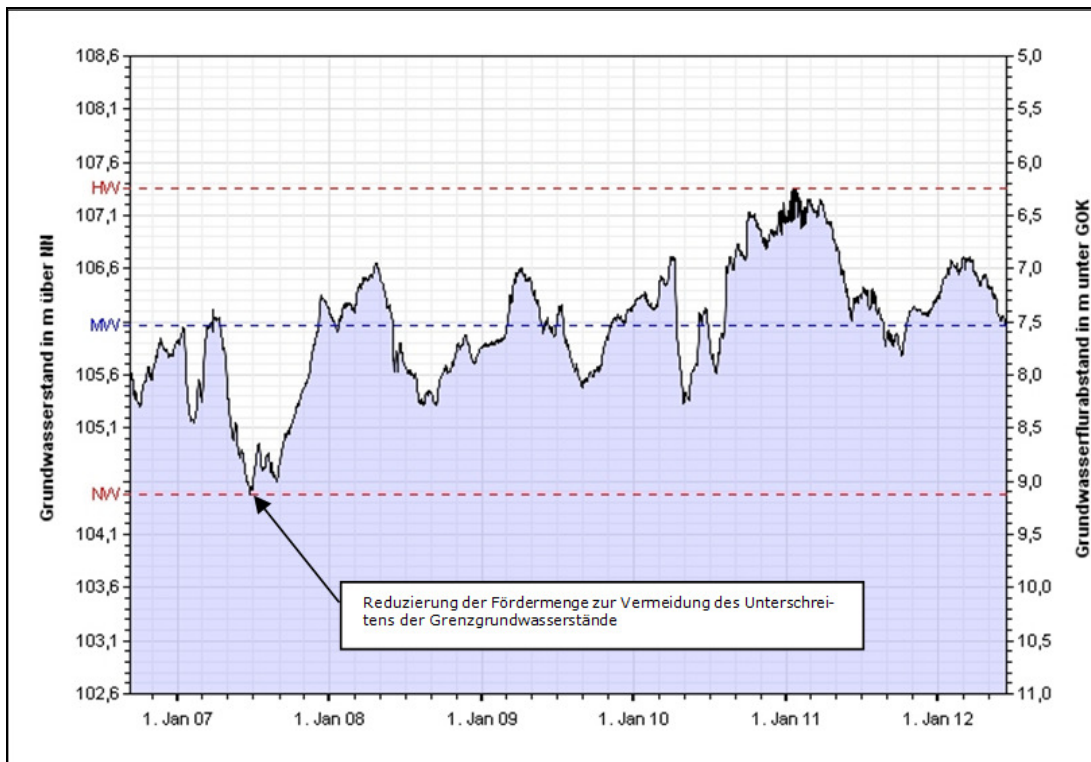


Abbildung 12: Grundwasserstandganglinie der städtischen Grundwassermessstelle 5747, Frauenkirche Dresden

Die dargebots- bzw. grundwasserstandsabhängige Steuerung von Grundwasserentnahmemengen kann so als ein Instrument zur flexiblen Anpassung von Entnahmemengen an die Auswirkungen der klimawandelbedingten Änderung der Grundwasserneubildung und die daraus resultierenden prognostizierten stärkeren Schwankungen der Grundwasserstände im Jahresverlauf genutzt werden. Diese Festlegung kann jederzeit an den sich entwickelnden Erkenntnisfortschritt angepasst werden.

Grenzgrundwasserstände können bei der Erteilung neuer wasserrechtlicher Erlaubnisse sofort festgesetzt werden. Für bestehende Wasserrechte ist eine Anpassung erst mittel- bzw. langfristig möglich. Eine Anpassung bestehender Rechte ist dann geboten, wenn bereits vor Ablauf des Nutzungsrechtes erkennbar negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt festzustellen sind. Versorgungsalternativen können beispielsweise luft- statt wassergekühlter Kälteaggregate für Spitzenlastzeiten sein.

6. Kontrolle von Grundwasserstandsentwicklung und –temperatur durch dauerhafte Messnetze

Messnetze zur Überwachung des Grundwasserstandes bieten den Behörden ein unverzichtbares Mittel beim Monitoring der Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Grundwasserhältnisse und bei der Entwicklung und Steuerung von Anpassungsprozessen. Besonders für von mehreren veränderlichen Randbedingungen abhängende Prozesse wie beispielsweise die Entwicklung der Grundwasserneubildung, die derzeit auf der Grundlage der vorhandenen Daten noch nicht ausreichend sicher prognostizierbar sind, sind dauerhafte Grundwassermessnetze als Basis für eine intensive Überwachung der sich einstellenden Entwicklung und die Ableitung zukünftiger Anpassungsmaßnahmen unverzichtbar. In Sachsen obliegt die staatliche Grundwasserüberwachung dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Für spezielle Fragestellungen, wie beispielsweise die Beobachtung der Grundwasserstände bei Hochwasser sind die Kommunen aufgefordert, eigene Überwachungsmöglichkeiten vorzuhalten. Die Stadt Dresden hat hierfür ein Online-Überwachungsmessnetz an Grundwassermessstellen aufgebaut, das den Bürgern im Internetauftritt der Stadt jederzeit mit aktuellen Daten zur Verfügung steht.

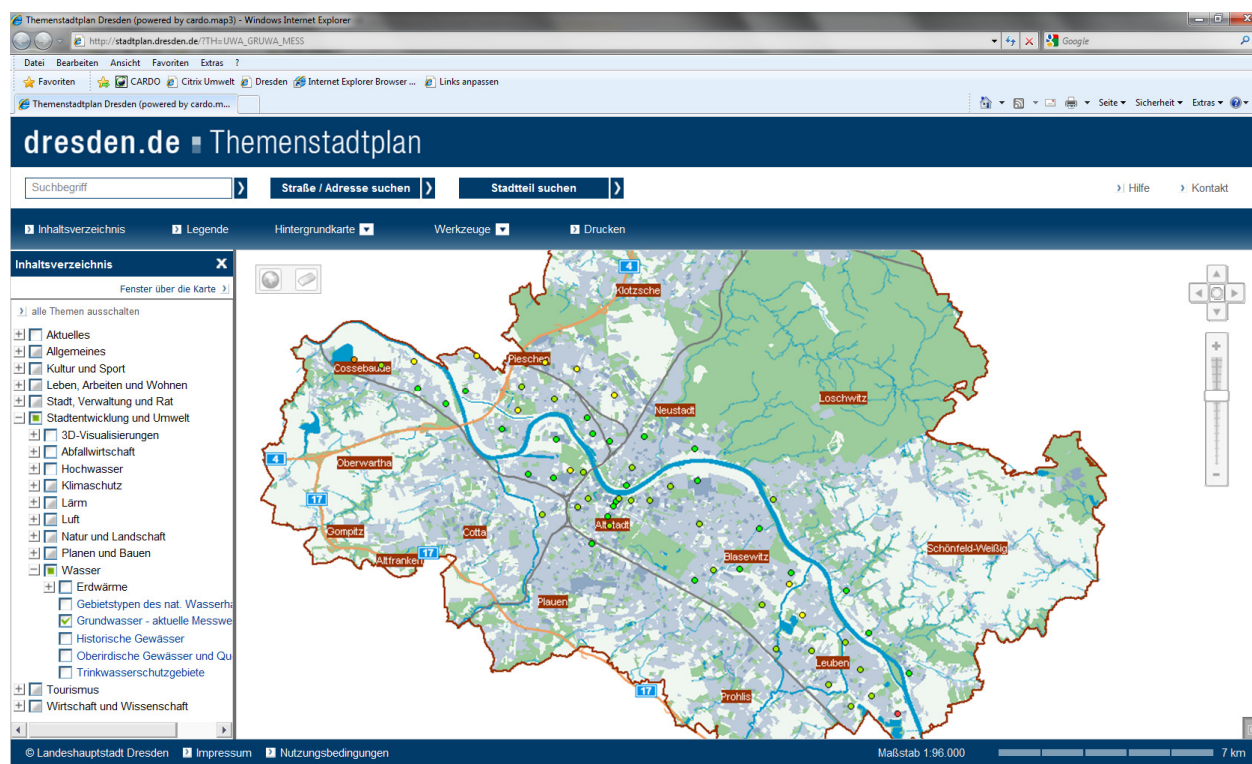


Abbildung 13: Grundwassermessstellen des Hochwasserbeobachtungssystems Grundwasser in Dresden

7. Schlussfolgerungen

Der Klimawandel ist bereits heute zu beobachten und die Veränderungen erfordern jetzt schon unser Handeln. Weil die klimatische Entwicklung von vielen dynamischen Faktoren abhängig ist und die Klimamodelle die tatsächlich ablaufenden Prozesse nur begrenzt abbilden können, bleiben dabei auch weiterhin große Unsicherheiten bestehen.

Diese Unsicherheiten sind ihrerseits eine der größten Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel und sind bei der Ableitung von Maßnahmen ganz besonders zu beachten. Insbesondere sogenannte No-regret-Maßnahmen, die jetzt schon einen Nutzen entfalten, gleichzeitig zukünftige Richtungskorrekturen aber nicht verhindern, kommen hier in Frage.

Die hier begonnenen Untersuchungen müssen fortgeführt und durch weitere Berechnungen unter Nutzung anderer statistischer Regionalklimamodelle sowie möglichst auch eines dynamischen Regionalmodells ergänzt und verifiziert werden.

Anpassung an den Klimawandel findet stets vor Ort statt. Wasserbehörden entscheiden dabei heute und in Zukunft darüber, welche Nutzungen unter welchen Randbedingungen erlaubt werden können. Für die Bewertung der ablaufenden Veränderungen und die Anpassung an die sich verändernden Gegebenheiten brauchen die Wasserbehörden daher zwingend ausreichend Fachpersonal in ihren Organisationseinheiten.

Die zu erwartende Zunahme von Hochwasserereignissen hat auch Auswirkungen auf das Grundwasser und die hierdurch hervorgerufenen Gefahren. Insbesondere wenn maßgebliche Hochwasserereignisse schon länger zurückliegen oder nicht persönlich erlebt wurden, ist die Gefährdung für den Einzelnen oft nicht leicht erkennbar. Ganz besonders gilt dies für die Gefährdung durch Grundhochwasser, denn diese ist oberirdisch nicht sichtbar. Auch in „hochwasserfreien“ Zeiten muss deshalb eine planmäßige und kontinuierliche Informationsvorsorge erfolgen und im (nahenden) Hochwasserfall kurzfristig intensiviert werden können. Auch hierfür sind in den Behörden und Gemeinden geeignete personelle und materielle Kapazitäten vorzuhalten bzw. zu qualifizieren.

Eine besonders große Bedeutung kommt jedoch in Bezug auf das Grundwasser dem zielgerichteten, intelligenten und vernetzten Monitoring der ablaufenden Prozesse, einer fachlichen Bewertung der tatsächlich eintretenden Veränderungen sowie robusten und vor allem flexiblen Anpassungsmaßnahmen zu.

8. Literatur

- Bernhofer, C., Matschullat, J., & Bobeth, A. (2011). *Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden*. Berlin: RHOMBOS-Verlag.
- Czychowski, & Reinhardt. (2010). *Wasserhaushaltsgesetz: WHG, Kommentar*.
- DGFZ. (2012). *Unterirdische Schadenspotentiale durch Grundhochwasser in urbanen Lebensräumen*. Gemeinsame Mitteilungen des Dresdner Grundwasserforschungszentrums e.V. und seiner Partner. Heft 6/2012 (ISSN 1611 - 5627), Dresden.
- Dunger, V. (2007). *Erweiterung der Dokumentation des Modells BOWAM-GW (Version 2007) zur Simulation des Wasserhaushaltes in der ungesättigten Bodenzone (Aerationszone) für grundwasserferne und -nahe Standorte*.
- Hänsel, S., & Hoy, A. (2013). *Atmosphärische Zirkulationsmuster sowie Trocken- und Nassphasen in regionalen Klimaprojektionen. Ergebnisbericht des TP 2.1b, 137 S.*
- Korndörfer, C. (2012). Anpassung der Landeshauptstadt Dresden an eine Zukunft mit verändertem Klima und knappen Ressourcen. In *Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel*. Stuttgart: Schweizerbart.
- Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt. (2005). *Auswirkungen des Hochwassers 2002 auf das Grundwasser, Forschungsbericht*. Dresden.
- Siedler, Zeitler, Dahme, & Knopp. (2012). *Wasserhaushaltsgesetz - Abwasserabgabengesetz (Kommentar)*.
- Sommer, T., & Ullrich, K. (2013). Grundhochwasser - Erfahrungen, Schadenspotentiale und Untersuchungen in der Stadt, Vortrag auf dem 36. Dresdner Wasserbaukolloquium. *Wasserbauliche Mitteilungen Heft 48*. Dresden: Technische Universität Dresden.
- Tesch, S., Dunger, V., & Matschullat, J. (2013). *REGKLAM-Ergebnisbericht Produkt TP 3.2.2b: Veränderungen der Grundwasserneubildung im Stadtgebiet Dresden (in Vorbereitung)*.