

Natur am Niederrhein

ISSN 0930-6935

(Neue Folge)

28. Jahrgang · Heft 2

2013



HERAUSGEBER:
NATURWISSENSCHAFTLICHER VEREIN ZU KREFELD e.V.

Natur am Niederrhein

ISSN 0930-6935

(Neue Folge)

28. Jahrgang · Heft 2

2013

HERAUSGEBER:
NATURWISSENSCHAFTLICHER VEREIN ZU KREFELD e.V.

INHALT

Natur am Niederrhein (Neue Folge), 28. Jahrgang

Heft 2

REINHOLD STROTSMANN: Die Entwicklung der Grundwasserstände im Raum Krefeld	3
STEFAN KRONSBELN und KLAUS LEHMANN: Nachrichten über verspürte Erdbeben in Goch	22
JÜRGEN DANIELZIK: Veränderungen der Grünlandnutzungen und des Landschaftsbildes – Vergleichende Untersuchungen in vier Naturschutzgebieten in Hünxe und Schermbeck (Niederrhein-Kreis Wesel)	45
ULRICH W. ABTS: Die Rückkehr der Wasser- und Ufermoose des Rheins, unter besonderer Berücksichtigung von Fontinalis antipyretica Hedw. (Gemeines Brunnenmoos)	55
Literatur	60
Richtlinien für Autoren	62
Nachruf auf Helmut Schulze	64

Impressum

Herausgeber:

Naturwissenschaftlicher Verein zu Krefeld e. V.
Prof. Dr. Jürgen Schram
Hochschule Niederrhein
Frankenring 20
47798 Krefeld

Redaktionsleitung:

Prof. Dr. Josef Klostermann
De-Greif-Str. 195
47803 Krefeld

Gesamtherstellung und Vertrieb:

Joh. van Acken GmbH & Co. KG
Druckerei und Verlag, Krefeld

Für den sachlichen Inhalt sind die Autoren
verantwortlich

Auflage: 500 Stück

© Naturwissenschaftlicher Verein zu Krefeld e. V.

Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung
des Herausgebers

Natur am Niederrhein (N. F.)	28 (2)	3 – 19	10 Abb., 3 Tab.	Krefeld 2013
------------------------------	--------	--------	-----------------	--------------

Die Entwicklung der Grundwasserstände im Raum Krefeld

REINHOLD STROTMANN*)

- 1 Einleitung
- 2 Datenbasis
- 3 Hydrogeologischer Überblick
- 4 Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Grundwasserstände
 - 4.1 Überblick
 - 4.2 Siedlungs- und Bevölkerungsentwicklung
 - 4.3 Grundwasserentnahmen
 - 4.4 Klima
 - 4.4.1 Allgemeine Klimadaten
 - 4.4.2 Klimatische Wasserbilanz
- 5 Entwicklung der Grundwasserstände
 - 5.1 Der natürliche Gang des Grundwassers
 - 5.2 Entwicklung der Grundwasserstände seit 1900
- 6 Diskussion der Ergebnisse für den Raum Krefeld
- 7 Schriftenverzeichnis

Kurzfassung

Zunehmend haben in den letzten 150 Jahren anthropogene Einflüsse die natürliche Entwicklung der wasserwirtschaftlichen Situation geprägt. Hierzu zählen insbesondere Einflüsse in Verbindung mit der Ausweitung der Siedlungsräume, der Verstärkung und der Industrialisierung. Neben diesen, auch als Urbanisierung bezeichneten Prozessen, wird in den letzten Jahren verstärkt auch der Einfluss des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft diskutiert. In Teilen des Stadtgebietes Krefeld wurden im Spätherbst 2010 die höchsten Grundwasserstände seit über 50 Jahren gemessen. Sie haben lokal zu Vernässungen an Gebäuden geführt.

Diese Vernässungen sind insbesondere auf ein extremes Niederschlagsereignis im November 2010 zurückzuführen, das bei hohen Grundwasserständen zu einem weiteren Anstieg geführt hat. Die ohnehin hohen Grundwasserstände können auf die Reduzierung der öffentlichen und industriellen Grundwasserentnahmen zurückgeführt werden. Aktuell ist nicht mit Sicherheit nachzuweisen, dass die hohen Grundwasserstände auf veränderte klimatische Bedingungen zurückzuführen sind. Zukünftig ist aber zu erwarten, dass der Klimawandel einen messbaren Einfluss auf den Wasserhaushalt haben wird.

1 Einleitung

Die natürlichen wasserwirtschaftlichen Verhältnisse sind seit dem frühen 19. Jahrhundert in der hiesigen Kulturlandschaft vom Menschen durch wasserbautechnische Maßnahmen wie Flussbegradigungen, Hochwasserschutzanlagen und den mit der Urbanisierung einhergehenden Prozessen dauerhaft verändert worden. Diese neuen Gegebenheiten haben erhebliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt eines Gebietes und damit auch auf die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände. Vom Menschen unbeeinflusste wasserwirtschaftliche Verhältnisse sind in der dicht besiedelten Kulturlandschaft heute nur noch selten anzutreffen.

Ging man in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts noch allgemein davon aus, dass die hohen Grundwasserstände der 1960er nicht mehr erreicht werden, hat unter anderem ein Umdenken im Umgang mit der Ressource Grundwasser zu einem Wandel geführt. Die Grundwasserstände steigen, und der Wandel wird am deutlichsten in dem weiterhin sinkenden Verbrauch an Trinkwasser und

*) Anschrift des Verfassers: DR. REINHOLD STROTMANN, c/o Dr. Strotmann Umweltberatung GmbH, Bockumer Platz 5a, 47800 Krefeld, strotmann@slub.de

dem massiven Rückgang industrieller Grundwasserentnahmen sichtbar.

In den letzten zehn Jahren rückt verstärkt auch der Einfluss des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft in den Fokus. Aktuell wird diskutiert, ob der Klimawandel zu steigenden Grundwasserständen führen wird. Die hydrologischen Zusammenhänge sind in Raum und Zeit aber äußerst komplex, so dass nach dem aktuellen Erkenntnisstand noch keine abschließenden und verbindlichen Aussagen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklung der Grundwasserstände gemacht werden können (z.B. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW 2011, DWA 2011, KLIWA 2012, GERSTENGARBE & WELZER, 2013).

Die Entwicklung des Grundwasserstandes wird aber auch von einer Vielzahl weiterer Faktoren beeinflusst, die sowohl natürlichen wie anthropogenen Ursprungs sind. Alle Faktoren zusammen beeinflussen den wasserwirtschaftlichen Rahmen, unter denen sich die Grundwasserstände entwickeln. Die verschiedenen Einflussfaktoren können dabei räumlich wie zeitlich unterschiedlich auf die Entwicklung der Grundwasserstände einwirken. Eine ausführliche Beschreibung für den Raum Krefeld bzw. den Niederrhein finden sich bei STROTMANN (1997) bzw. RÖMERMANN (1986).

So liegen im Raum Krefeld lokal schon heute die Grundwasserstände über den höchsten gemessenen Grundwasserständen aus den 1960er Jahren. Diese wurden und werden aber in der Bauwirtschaft in der Regel als so genannter „Bemessungsgrundwasserstand“ für die Erfordernisse der Abdichtung von Gebäuden gegen Grundwasser herangezogen. Schäden an Bauwerken durch hohe Grundwasserstände und unzureichende Abdichtungen haben seit Mitte der 1990er Jahre deutschlandweit stark zugenommen. Sie gehören zu den häufigsten Bauschäden, sind in der Regel mit hohen Sanierungskosten verbunden und beschäftigen in zunehmender Anzahl die Gerichte (BWK 2009).

Ein deutliches Zeichen für extrem hohe Grundwasserstände ist denn auch der Aufschrei von betroffenen Hausbesitzern, wenn die Grundwasserstände ein Niveau erreichen, das zu nassen Kellern führt. Immer wieder berichten Hausbesitzer, am deut-

lichsten in Folge eines Starkregenereignisses wie zuletzt im Herbst 2010, über nasse Keller durch das Eindringen von Grundwasser in Kellerräume. Die Suche der Betroffenen nach den „Verantwortlichen“ für die hohen Grundwasserstände richtet sich dabei insbesondere an die Politik.

Letztlich muss aber eine unbefriedigende Situation entstehen. Eine Stadtverwaltung ist weder „Verursacher“ noch „Verantwortlicher“ noch derjenige, der für die Betroffenen akzeptable Lösungen aufzeigen kann. Die Entwicklung der Grundwasserstände entzieht sich aufgrund der damit verbundenen Prozesse weitestgehend kurzfristigem und auch politischem Handeln auf lokaler Ebene. Dabei sind gerade Planungsfehler bei der Festlegung des Bemessungsgrundwasserstandes die Gründe für Bauschäden infolge Feuchtigkeit und eindringendes Wasser in die Kellerräume. Die sich in Raum und Zeit verändernden wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen wurden und werden bei der Festlegung fehlerhaft oder überhaupt nicht berücksichtigt.

Im Folgenden sollen einige Zusammenhänge dargestellt werden, unter welchen maßgeblichen Fak-

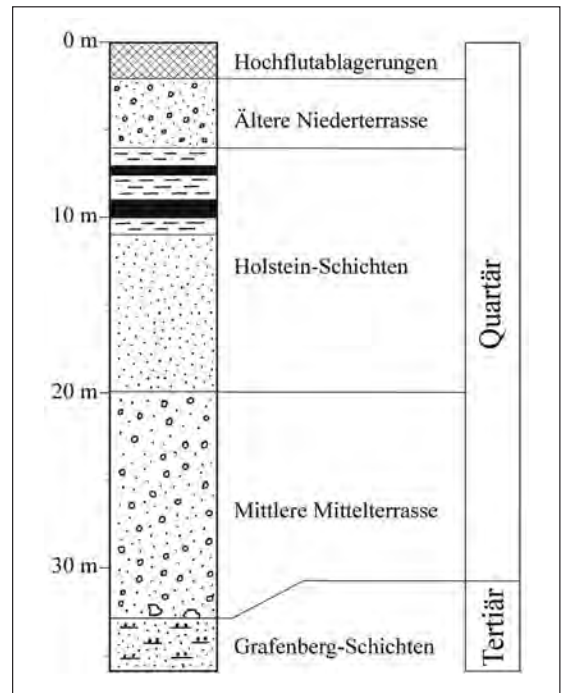


Abb. 1: Bohrprofil KB 9 (STROTMANN & HOLL-HAGEMIEER 2002)

toren sich in den letzten Jahren die Grundwasserstände im Krefelder Stadtgebiet entwickelt haben. Die Darstellung basiert auf den Daten, die von STROTMANN (1997) für den Zeitraum 1800 bis 1995 erhoben wurden. Die Daten wurden bis zum Jahr 2010 bzw. 2011 aktualisiert.

2 Datenbasis

Als Betrachtungszeitraum wurden die Jahre 1960 bis 2011 gewählt, da für diesen Zeitraum für alle Einflussfaktoren eine relativ gute Datenbasis vorhanden ist. Daten, die bis zum Ende des 19. Jahrhunderts zurückreichen, wurden Jahresberichten der Städtischen Werke Krefeld (SWK) wie den Statistischen Jahrbüchern der Stadt Krefeld entnommen (STROTMANN 1997). Aktuelle Daten wurden vom Fachbereich Umwelt der Stadt Krefeld, der SWK aqua GmbH, dem Deutschen Wetterdienst (DWD), der LINEG und der online-Datenbank ELWAS vom

Landesumweltamt NRW zur Verfügung gestellt. Den Klimadaten liegen die meteorologischen Daten der Station St. Tönis über den Zeitraum von 1951 bis Oktober 2011 zugrunde. Des Weiteren liegen für die ehemalige Färbereischule in Krefeld Angaben zu Niederschlagshöhen seit 1850 und Angaben zu Temperatur und Luftfeuchtigkeit seit 1935 vor.

In der Hydrologie bezieht sich der Zeitraum eines Jahres auf die Monate von November bis Oktober des folgenden Jahres. Das Winterhalbjahr (WHJ) entspricht den Monaten November bis April, das Sommerhalbjahr (SHJ) den Monaten Mai bis Oktober.

3 Hydrogeologischer Überblick

Das Stadtgebiet von Krefeld liegt in einer der grundwasserreichsten Landschaften Nordrhein-Westfalens. Der quartäre Grundwasserleiter besteht

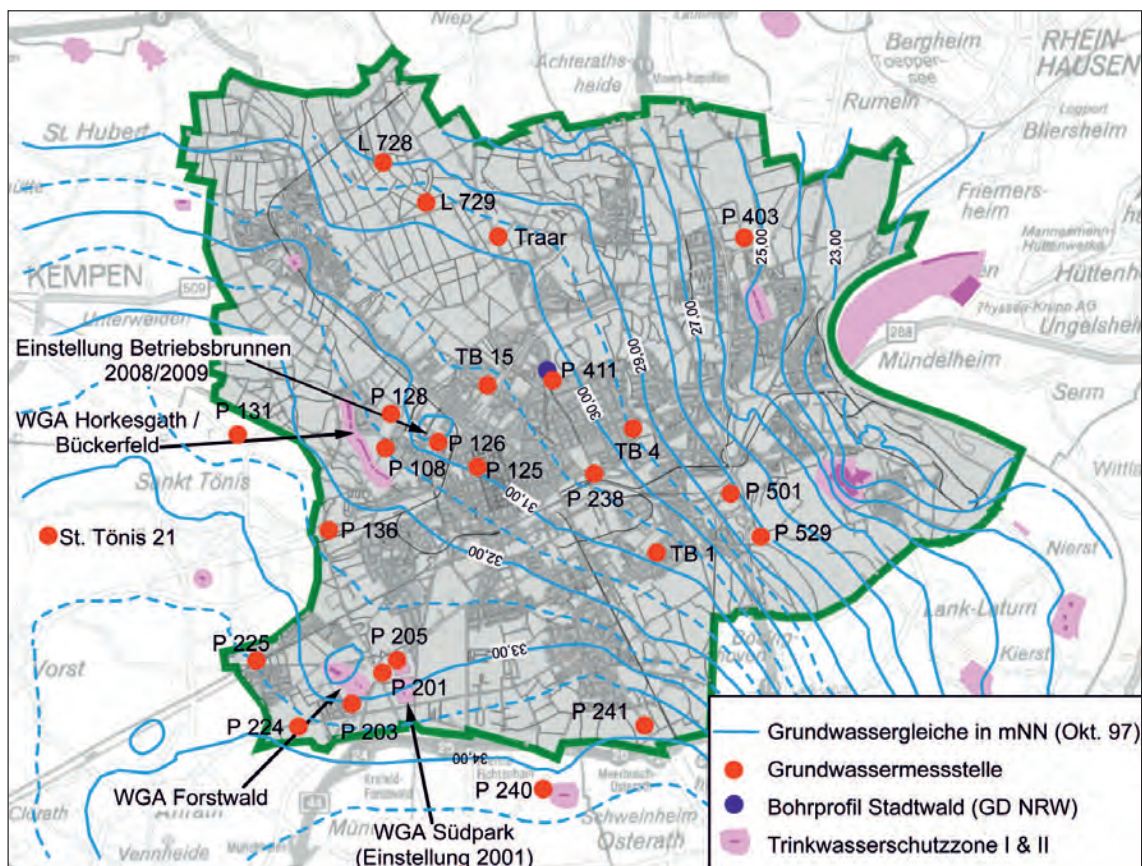


Abb. 2: Grundwassergleichen Stadtgebiet Krefeld (aus STROTMANN & HOLL-HAGEMEIER 2002, verändert)

im Westen aus der Mittleren Mittelterrasse und im Osten des Stadtgebietes aus den Ablagerungen der Älteren Niederterrasse des Rheins (Abb. 1). Ihre hohe Durchlässigkeit und ihr großer Porenraum machen sie für die Gewinnung von Trink- und Brauchwasser besonders ergiebig.

Im Westen und Nordwesten wird der Grundwasserleiter durch die Einschaltung der teils schluffig-tonigen Ablagerungen der Holstein-Schichten oberhalb der Mittleren Mittelterrasse in zwei Teilstockwerke unterteilt. Die Verbreitung der Holstein-Schichten ist lückenhaft. Die Schichten weisen sehr geringe Durchlässigkeiten auf und sind als Grundwasser-nichtleiter einzustufen. Sofern keine hydraulische Trennung durch die Holstein-Schichten vorliegt,

bilden die Rheinterrassen damit einen zusammenhängenden Grundwasserleiter mit einer Mächtigkeit von 15 bis 35 m, lokal auch bis zu 40 m. Im Verbreitungsgebiet der Holstein-Schichten ist der Grundwasserleiter in ein unteres und oberes Teilstockwerk unterteilt. Zwischen beiden Teilstockwerken bestehen hydraulische Kontakte, da die Holstein-Schichten nicht in durchgehender Verbreitung vorliegen.

Das Einzugsgebiet des Grundwassers im Raum Krefeld reicht über die Stadtgrenzen nach Westen und Süden hinaus. Im Westen und Südwesten wird das Einzugsgebiet von einer etwa Südost-Nord verlaufenden Scheitelzone (RÖMERMANN 1986) – der Grundwasserscheide zwischen Rhein und Maas

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf die Höhe der Grundwasserstände

Einflussfaktor	Auswirkung
Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung	Auswirkung auf Art der Flächennutzung und der Fördermengen von Trinkwasser
Flächennutzungsänderung und Bodenversiegelung	Auswirkung auf Höhe der flächigen Grundwasserneubildung
industrielle Grundwasserentnahmen	Reduzierung führt zu Grundwasseranstieg
Verlagerung oder Stilllegung von Trinkwasserförderanlagen	führt zu Grundwasseranstiegen
Kanalsanierung	Reduzierung der Dränagewirkung, aber auch von Leckagen aus undichten Kanälen
Veränderung des Klimas	niedrigere Sommer- und höhere Winterniederschläge Höhere Temperaturen Veränderung der Höhe der Verdunstung
Niederschlagswasserversickerung	punktueller höhere Grundwasserneubildung
Reduzierung der Flächen mit geringen Flurabständen (Bruchgebiete) durch die Absenkung der Grundwasserstände z.B. durch Dränmaßnahmen	Erhöhung der Grundwasserneubildung
Braun- und Steinkohlenbergbau	Wasserregulierung
Durch wasserbauliche Maßnahmen veränderte Gewässer	Offen: Ziel ist es, den Zustand des Grundwassers zu halten
Rückbau von naturfern gestalteten Gewässern	Offen: Ziel ist es, den Zustand des Grundwassers zu halten

– begrenzt (Abb. 2). In den Grundwassergleichen von Oktober 1997 verläuft diese Scheitelung von Willich im Südwesten über Anrath, westlich St. Tönis nach Norden bis nach St. Hubert. Westlich dieser Grundwasserscheide fließt das Grundwasser über die Niers in die Maas und östlich davon in den Rhein.

4 Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Grundwasserstände

4.1 Überblick

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die (anthropogenen) Faktoren, die auf die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände Einfluss haben können. Die Intensität dieses Einflusses kann dabei zeitlich und räumlich sehr variabel sein. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass die meisten Einflüsse zeitlich befristet oder auch wieder umkehrbar sind.

So unterliegen zum Beispiel Eingriffe in das Grundwasser in Form der Förderung von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung oder als Brauchwasser für die Industrie dem Wasserhaushaltsgesetz. Hier werden derartige Eingriffe rechtlich geregelt und meist zeitlich befristet. Sie stellen damit nicht dauerhaft ausgelegte Eingriffe dar und sind reversibel.

So können die Grundwasserstände nach Beendigung oder einer Veränderung der Eingriffe damit durchaus wieder auf die natürliche Höhen ansteigen.

4.2 Siedlungs- und Bevölkerungsentwicklung

Urbanisierung (Verstädterung) beschreibt den Prozess der zunehmenden Bevölkerungsverdichtung in städtischen Gebieten infolge der Industrialisierung wie auch die Zunahme städtischer Elemente in ländlichen Siedlungen. Gegenüber ländlichen Gebieten lassen sich urbanisierte Gebiete unter anderem wie folgt charakterisieren:

- Bevölkerungswachstum und hohe Bevölkerungsdichte,
- Landschaftsverbrauch,
- Veränderung und Intensivierung der Flächennutzung,

- Nachverdichtung bebauter Flächen,
- Zunahme des Verkehrs und der Verkehrsflächen,
- erhöhter Energie- und Wasserverbrauch.

Die mit der Urbanisierung verbundenen Prozesse haben einen erheblichen Einfluss auf den hydrologischen Kreislauf, da z. B. durch die Oberflächenversiegelung die Grundwasserneubildung reduziert wird. Umgekehrt führt durch die Absenkung der Grundwasserstände (z. B. Dränmaßnahmen) eine Reduzierung der Flächenanteile mit geringen Fluhrabständen (z. B. Bruchgebiete) zu einer Erhöhung der Grundwasserneubildung. Zudem führt die Industrialisierung und die Bevölkerungszunahme im letzten Jahrhundert zu einem erheblichen Anstieg der Trink- und Brauchwassergewinnung aus dem Grundwasser (STROTSMANN 1997). Die Entwicklung der sogenannten Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) ist dabei ein guter Indikator für die Urbanisierung. Unter den SuV werden folgende Art von Flächen zusammengefasst:

- Gebäude- und gebäudebezogene Freiflächen für unterschiedliche Nutzungen wie Wohnen, Arbeiten, Bildung, Verwaltung,
- Verkehrswege: Straßen, Wege, Plätze, Schienen,
- Erholungsflächen: Sportanlagen, Campingplätze, Parks und Grünanlagen,
- Betriebsflächen (ohne Abbauand): Lager und Halden, Anlagen der Ver- und Entsorgung,
- Friedhöfe.

Mit einem Anteil von 13,3 % an der Gesamtfläche der Bundesländer (2009) ist der Flächenanteil der Siedlungsfläche gegenüber der Landwirtschafts- und Waldfläche auf den ersten Blick vergleichsweise gering. In Ballungszentren steht dem aber ein Anteil der Siedlungsflächen von mehr als 70 % gegenüber. Insbesondere nach dem Zweiten Weltkrieg bewirkte die Urbanisierung in der ländlichen Umgebung von Ballungsgebieten einen Strukturwandel. Seit 1950 ist die Entwicklung der Flächennutzung durch eine stetige Zunahme der Siedlungsflächen, vor allem der Wohnungsbauflächen sowie der gewerblich und industriell genutzten Flächen, gekennzeichnet. Besiedelte und damit größtenteils versiegelte Flächen nehmen trotz stagnierender Einwohnerzahlen zu.

Für Nordrhein-Westfalen liegt der Anteil der SuV-Flächen im Jahr 2009 bei 22,3 % (LANUV 2010). Städte im Ruhrgebiet weisen Anteile an SuV-Flächen von bis zu 70 % auf. Für die versiegelten Flächen wurde je nach Art der Erhebung ein mittlerer Versiegelungsgrad von ca. 46 % bis über 50 % ermittelt (LANUV 2010).

Für das Stadtgebiet Krefeld gibt Abbildung 3 die Entwicklung der SuV-Flächen seit 1885 und die Entwicklung der Bevölkerung seit 1855 wieder. Größere Schwankungen in der Entwicklung sind unter anderem auf Eingemeindungen in den 20er und 70er Jahren des letzten Jahrhunderts zurückzuführen. Seit den 50er Jahren haben sich die SuV-Flächen mehr oder weniger mit der Zunahme der Bevölkerung auf heute etwa 55 % fast verdoppelt. In den letzten zehn Jahren ist der Anstieg, bei stagnierender Bevölkerungszahl, geringer geworden. Die Prognose der Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2030 lässt zudem eine weiter sinkende Bevölkerungszahl erwarten. Letztlich hat der Flächenverbrauch bei abnehmender Bevölkerungszahl zugenommen.

4.3 Grundwasserentnahmen

Die Industrie im Krefelder Stadtgebiet mit den Schwerpunkten Textil, Chemie, Metall- und Maschinenbau ist traditionell als eine intensiv wasserverbrauchende Industrie einzustufen. Aufgrund des Wirtschaftswachstums nach dem Zweiten Weltkrieg, insbesondere im produzierenden Gewerbe, stiegen die Grundwasserentnahmen bis in die 1980er hinein an. Mit der Einführung der Abwasserabgabe im Jahr 1981 wurden die industriellen Entnahmen wieder verstärkt zurückgefahren. Gleichzeitig führte die Zunahme der Bevölkerung zu einem erhöhten Trinkwasserverbrauch. Die Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet lassen sich im Wesentlichen in folgende Bezirke unterteilen:

- öffentliche Trinkwasserversorgung,
- Brauchwasser für die Industrie,
- Vorflutregulierung in Folge des Bergbaues im Norden des Stadtgebietes und durch die dauerhafte Absenkung des Grundwasserspiegels zur Trockenhaltung von Gebäuden,
- landwirtschaftliche Entnahmen.

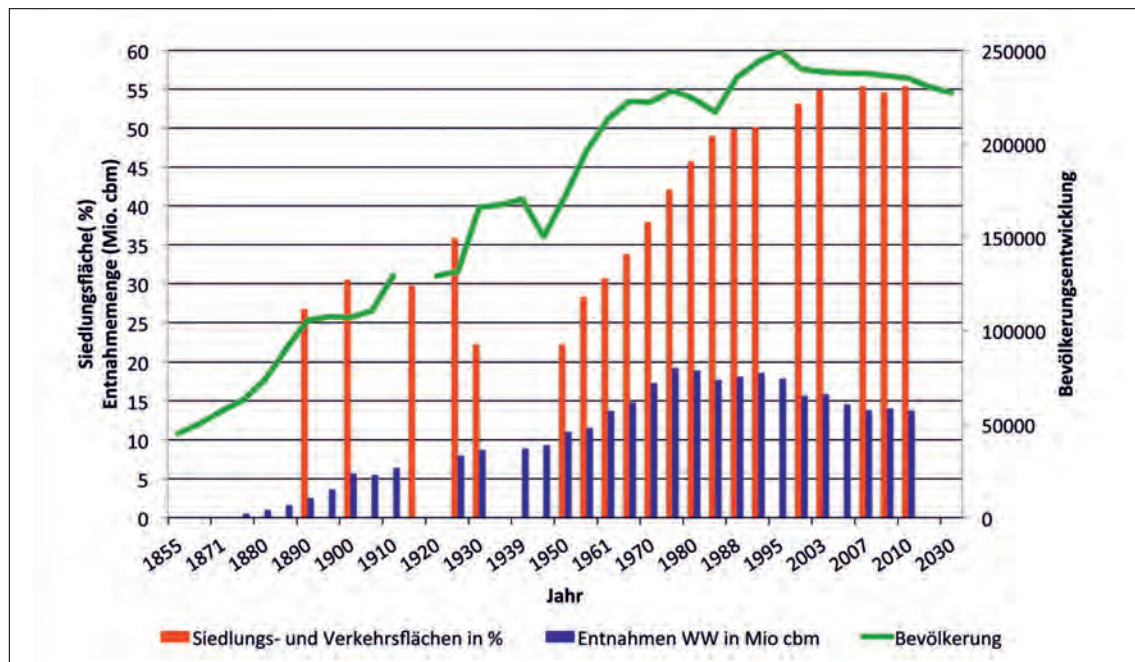


Abb. 3: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen, der Bevölkerung und der Entnahmen der öffentlichen Trinkwasserversorgung von 1875 bis 2010 (Bevölkerungsentwicklung Stadt Krefeld nach 2010 als Prognose der Bertelsmannstiftung)

öffentliche Trinkwasserversorgung

Der Beginn der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Krefelder datiert auf das Jahr 1877, als in Krefeld-Benrath das erste Wasserwerk errichtet wurde. Bis 1910 wurden weitere vier Wasserwerke an den Standorten Forstwald, Hüls und Uerdingen in Betrieb (Abb. 2) genommen. Das Wasserwerk in Krefeld-Linn ging 1957 in Betrieb.

Heute werden innerhalb des Krefelder Stadtgebietes sechs Wassergewinnungsanlagen (WGA) betrieben, wobei die WGA Südpark 2001 stillgelegt wurde. Die Wasseraufbereitung erfolgt heute zentral an den Standorten Südpark und Linn. Die außerhalb des Stadtgebietes rheinnah gelegenen WGA Werthhof und Rheinfähre speisen zusätzlich in das Netz der Stadt Krefeld ein.

Das Grundwasser wird aus dem quartären Grundwasserleiter gewonnen. Nur die WGA Linn und Werthhof fördern zusätzlich aus den tertiären Grafenberger Schichten. Darüber hinaus liegen im westlichen und südlichen Grundwassereinzugs-

gebiet der Stadt Krefeld sechs weitere Wasserwerke (WW) umliegender Gemeinden.

Seit Beginn der Förderung bis in die 1970/80er Jahre hinein haben sich die Entnahmemengen mit der Bevölkerungsentwicklung auf fast 19,4 Mio m³ entwickelt (Abb. 3). Ab den 1990er Jahren setzt eine Umkehrung des Trends ein, so dass die Entnahmen heute nur noch bei rund 13,4 Mio m³ pro Jahr liegen. Unter Berücksichtigung der Prognose für die Bevölkerungsentwicklung der Stadt Krefeld (Abb. 3) ist zukünftig eine weitere Reduzierung der Entnahmemengen für die öffentliche Trinkwasserversorgung zu erwarten.

Im Bereich Kempener Allee wurden die Fördermengen der WGA Bückersfeld und Horkesgath zum Beispiel von über etwa 3,5 Mio m³/a seit 2006 auf heute nur noch 2,3 Mio m³/a reduziert. Die Entnahmen des Grundwassers haben einen deutlichen Einfluss auf die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände. Dieser lässt sich exemplarisch für den Bereich Forstwald dokumentieren (Abb. 4).

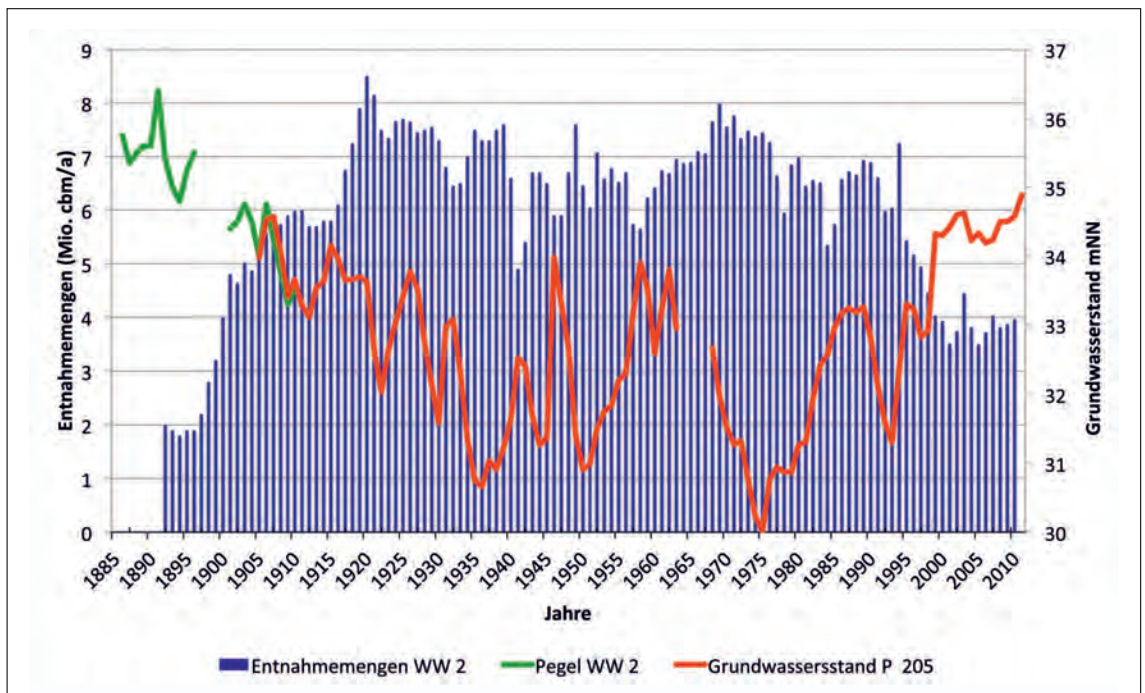


Abb. 4: Entwicklung der Grundwasserstände und der Fördermengen der öffentlichen Wasserversorgung im Raum Krefeld-Forstwald

Brauchwasser Industrie

Die Höhe der industriellen Fördermengen ist erst nach dem Zweiten Weltkrieg dokumentiert. Aufgrund von Zuständigkeitswechseln in der Erhebung der Mengen sind die Daten nach 2005 auch mit Unsicherheiten behaftet. Die Mengen für 2010 wurden abgeschätzt.

Von 1960 bis 1970 sind die Brauchwasserentnahmen der Industrie innerhalb des Stadtgebietes kontinuierlich von knapp 18 Mio m³/a auf fast 31 Mio m³/a angestiegen (Abb. 5). Ab 1981 ist mit der Einführung der Abwasserabgabe (RÖMERMANN 2004), die von den Ländern für die Einleitung von Abwasser in Gewässer erhoben wird, eine Trendumkehr zu beobachten, und die industriellen Entnahmen sind erheblich zurückgegangen. Die letzten gesicherten Daten liegen für 2005 mit rund 9 Mio m³/a vor, was etwa einem Drittel der Mengen aus den 1970er Jahren entspricht.

Die Auswirkungen der Einstellung der industriellen Förderung auf die Entwicklung der Grundwasserstände kann aktuell im Bereich Benrath/

Inrath beobachtet werden, wo im Jahr 2008 ein Industriebetrieb seine Förderung einstellte. Die Grundwasserstände der unmittelbar zugstromig zu den Förderbrunnen gelegenen Messstelle P 126 sind nach Einstellung der Förderung um fast 1 m angestiegen (Abb. 10). Unter Berücksichtigung der Prognose für die Bevölkerungsentwicklung der Stadt Krefeld (Abb. 3) ist zukünftig eine weitere Reduzierung der Entnahmemengen für die öffentliche Trinkwasserversorgung zu erwarten.

Vorflutregulierung und dauerhafte Absenkung des Grundwasserspiegels zur Trockenhaltung von Gebäuden

Seit etwa Anfang der 1980er Jahre wurde durch die Absenkung des Geländes infolge untertätigen Steinkohlenbergbaus im Norden von Krefeld die Regulierung des Grundwassers erforderlich. Etwa zeitgleich wurden lokal durch Fehlplanungen in der Bauausführung zwei Baugebiete errichtet, in denen die Keller direkt Kontakt zum Grundwasser aufweisen, ohne dass die Keller entsprechend hierfür ausgelegt wurden. Die Bebauung in benachbarten

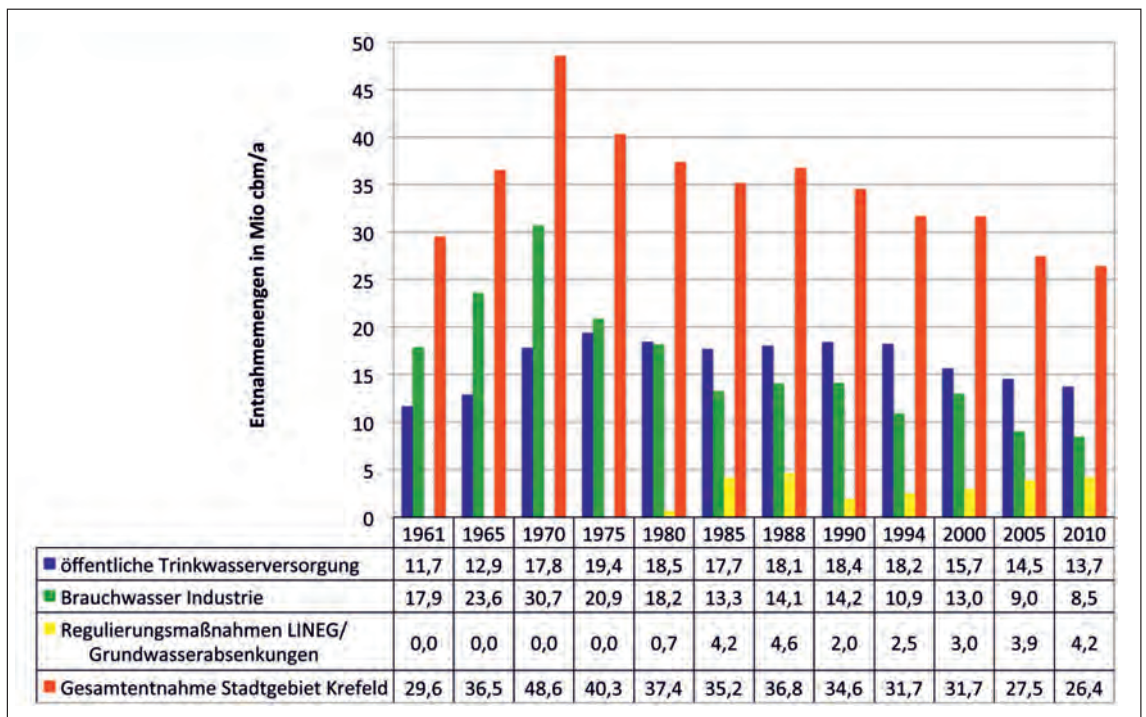


Abb. 5: Entwicklung der Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet Krefeld

Straßenzügen aus den 1920er und 1930er Jahren nahm dagegen schon Rücksicht auf potenziell höhere Grundwasserstände und setzte zum Beispiel auf nur halbeingetiefte Kellergeschosse. Dieses Wissen war im Bauboom der 1960er und 1970er Jahre verloren gegangen.

Zur Trockenhaltung dieser Keller wird das Grundwasser mittels Entnahmebrunnen abgesenkt. Das geförderte Wasser wird in der Regel dem Wasserkreislauf durch Einleitung in Vorfluter wie die Niepkuhlen wieder zugeführt.

Die in diesem Zusammenhang erforderlichen Entnahmen sind stark von der Höhe des Grundwasserstandes abhängig und schwanken entsprechend. Über den Zeitraum der letzten 30 Jahre sind hierfür Entnahmemengen zwischen 0,7 bis 4,6 Mio m³/a dokumentiert. Die Mengen liegen in den letzten Jahren tendenziell auf hohem Niveau.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die heutigen Gesamtentnahmemengen sich gegenüber ihrem Maximum in den 1970er von 48,6 Mio m³/a auf 26,4 Mio m³/a reduziert haben. Dies ist entscheidend auf die Reduzierung der industriellen und öffentlichen Fördermengen zurückzuführen, wohingegen der Anteil der Fördermengen zur Trockenhaltung von Kellerräumen an den Gesamtfördermengen von 0 % auf knapp 16 % im Jahr 2010 angestiegen ist.

4.4 Klima

SCHÖNWIESE (1995) definiert den Begriff Klima als die statistische Beschreibung der relevanten Klimatelemente, die für eine nicht zu kleine zeitliche Größenordnung die Gegebenheiten und Variationen der Erdatmosphäre hinreichend ausführlich charakterisieren. Als Betrachtungszeitraum wird dabei in der Regel ein Zeitraum von 30 Jahren zugrunde gelegt. Das Wetter unterliegt demgegenüber einer sehr hohen Variabilität. Dies findet Eingang in die alltäglichen Gespräche, die jeder von uns über das Wetter führt.

Unterliegt aber das Klima messbaren Veränderungen, oder ist es nur unser subjektiv geführtes Gespräch über das Wetter, welches uns die Klimaänderungen suggeriert? Haben diese Änderungen

dann auch Auswirkungen auf den Wasserkreislauf und müssen sie letztlich zu einem veränderten Verhalten in Bezug auf die Entwicklung der Grundwasserstände führen?

Mittlerweile gilt es als allgemein gesicherte Erkenntnis, dass der Klimawandel in der Umverteilung des Jahresniederschlages sowie in höheren Temperaturen zum Ausdruck kommt. Ohne im Detail auf die teils immer noch kontrovers geführte Diskussion eingehen zu wollen (siehe hierzu auch RAPP (2000) und RAPP & SCHÖNWIESE (1996), IPCC (2001), IPCC (2008), LANUV NRW (2010 & 2011), DWA (2011), GERSTENGARBE & WELZER (2013)), führt das LANUV (2011) für NRW aus:

- eine signifikante Temperaturzunahme von 1901-2008 um 1,1 °C mit einem verstärktem Trend ab 1970,
- eine Zunahme der jährlichen Niederschläge um 13 % gegenüber den langjährigen Mittelwert über den Zeitraum von 1901 bis 2008,
- eine höhere Zunahme der Niederschläge in den Winter- und Herbstmonaten als in den Sommermonaten.

Die langfristige Entwicklung der Grundwasserstände ist in hohem Maße abhängig von der Niederschlagshöhe, der Temperatur und der Verdunstung (siehe Kapitel 5). GERSTENGARBE & WELZER (2013) prognostizieren für das Zeitfenster 2031-2050 für Deutschland, mit regionalen Schwankungen, eine Zunahme der Verdunstung und Abnahme der Grundwasserneubildung mit fallenden Grundwasserständen. Im Folgenden sollen die lokalen Klimadaten insbesondere im Hinblick auf ihre Relevanz für die Entwicklung der Grundwasserstände ausgewertet werden.

4.4.1 Allgemeine Klimadaten

Einen Überblick über Niederschlags- und Verdunstungshöhen im Raum Krefeld gibt Tabelle 2. In Abbildung 6 ist die Niederschlagsentwicklung der zehnjährigen Mittelwerte für die Jahressummen sowie die Summe der Winter- und Sommerhalbjahre über den Zeitraum von 1851 bis heute dargestellt. Für alle Zeitreihen liegen positive Trends vor. Bezogen auf den Mittelwert des Zeitraumes

von 1851 bis 2010 (708 mm/a) fallen im Mittel des Zeitraumes von 1951 bis 2010 mit 789 mm/a rund 11 % höhere Niederschlagsmengen.

Ab 1950 wurden in allen Dekaden mit Ausnahme der trockenen 1970er, Niederschlagshöhen gemessen, die über dem langjährigen Mittelwert lagen. Gleiches gilt auch für die Winter- und Sommerhalbjahre, wobei letztere einen geringfügig stärkeren Anstieg aufweisen. Für den Zeitraum der letzten 60 Jahre fallen insbesondere die Zeiträume von 1951 bis 1970 auf, die insgesamt durch hohe Niederschlagsmengen in den Winterhalbjahren gekennzeichnet waren.

Die 1960er und 1980er Jahre weisen zudem sehr hohe Niederschläge in den Sommerhalbjahren auf. Die Dekaden 1991/2000 und 2001/2010 zeigen auch hohe Niederschlagsmengen, liegen aber in der Größenordnung deutlich unter denen aus den 1950er und 1960er. In den letzten drei Dekaden ist zu beobachten, dass in den Sommermonaten die Niederschlagshöhen ständig abgenommen und umgekehrt in den Wintermonaten zugenommen haben. Stellt man die Entwicklung der monatlichen Mittelwerte der Niederschläge bezogen auf 30jährige Zeiträume gegenüber, so sind deutliche Anstiege in den Monaten August bis Oktober sowie Dezember bis Februar und die Abnahme der Niederschläge in den Monaten März bis Juli zu beobachten. Die durchschnittlichen Monatstemperaturen sind seit den 1960er Jahren mit Ausnahme der Monate Juni, September und Oktober zwischen 0,2 und 1,4 °C gestiegen. Die Berechnung der langjährigen monatlichen potentiellen Verdunstung kann über die Formel von HAUDE (1955) erfolgen, in der neben den Niederschlagshöhen auch die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit berücksichtigt werden. Die durchschnittliche potenzielle Verdunstung ist seit den 1960er Jahren insbesondere

in den Sommermonaten angestiegen. Die stärksten Anstiege sind in dem Zeitraum von 1991 bis 2010 zu beobachten. Dies begründet sich durchweg mit den höheren Temperaturen der letzten beiden Jahrzehnte. In den Wintermonaten sind ebenfalls geringe Anstiege zu beobachten.

4.4.2 Klimatische Wasserbilanz

Die Ermittlung der klimatischen Wasserbilanz stellt ein relativ einfaches Mittel dar, um überschlägig die Höhe der Grundwasserneubildung und damit das Wasserdargebot in einem Gebiet zu bestimmen. Sie entspricht vereinfacht der Differenz aus den Niederschlagshöhen zu der potenziellen Verdunstung. Da in die Berechnung der Verdunstung, die hier nach HAUDE (1955) ermittelt wurde, auch die Temperatur eingeht, berücksichtigt die klimatische Wasserbilanz neben der langjährigen Entwicklung des Niederschlages auch die der Temperatur. Damit gehen in die Berechnung zwei Parameter ein, mit denen sich heute relevante Veränderungen des Klimas dokumentieren lassen.

Die Berechnung ergibt für alle Monate außerhalb der Vegetationszeit Oktober bis April einen Wasserbilanzüberschuss. Die jährliche klimatische Wasserbilanz ist im langjährigen Mittel der Jahre 1955 bis 2010 mit 197 mm positiv. Der Wasserüberschuss ist dabei allein auf die hydrologischen Wintermonate (204 mm) zurückzuführen; in den Sommermonaten liegt mit -7 mm im Mittel ein Defizit vor.

Über den Zeitraum von 1955 bis 2010 zeigt die Wasserbilanz bezogen auf das Gesamtjahr, wie auch für die Winter- und Sommerhalbjahre, einen abnehmenden Trend, der auf höhere Temperaturen und damit Verdunstungsraten zurückgeführt werden kann. Die monatliche Bilanz für den Zeitraum 1961-1980

Tabelle 2: Niederschlags- und Verdunstungsdaten (1951-2010) im Raum Krefeld

	Niederschlag (mm)	Verdunstung (mm)
Mittlere Jahresmenge	789	567
Mittlere Jahresmenge Winterhalbjahr	367	139
Mittlere Jahresmenge Sommerhalbjahr	422	428

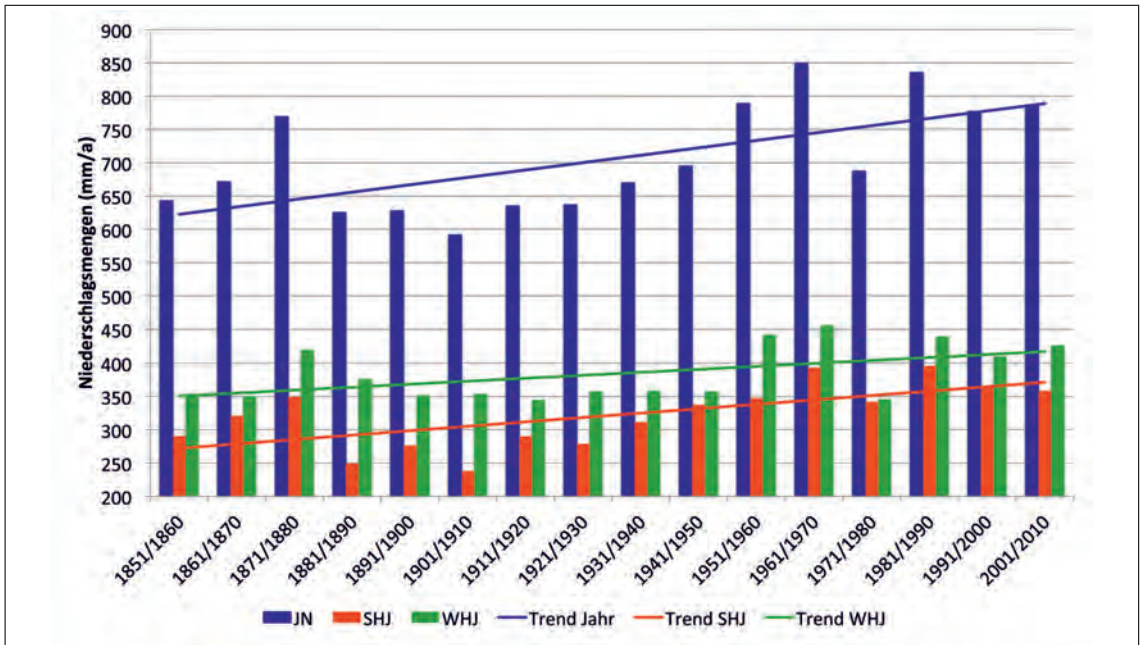


Abb. 6: Entwicklung der zehnjährigen jährlichen Niederschlagswerte über den Zeitraum 1851-2010 an der Station St. Tönis bei Krefeld bzw. Färbereischule

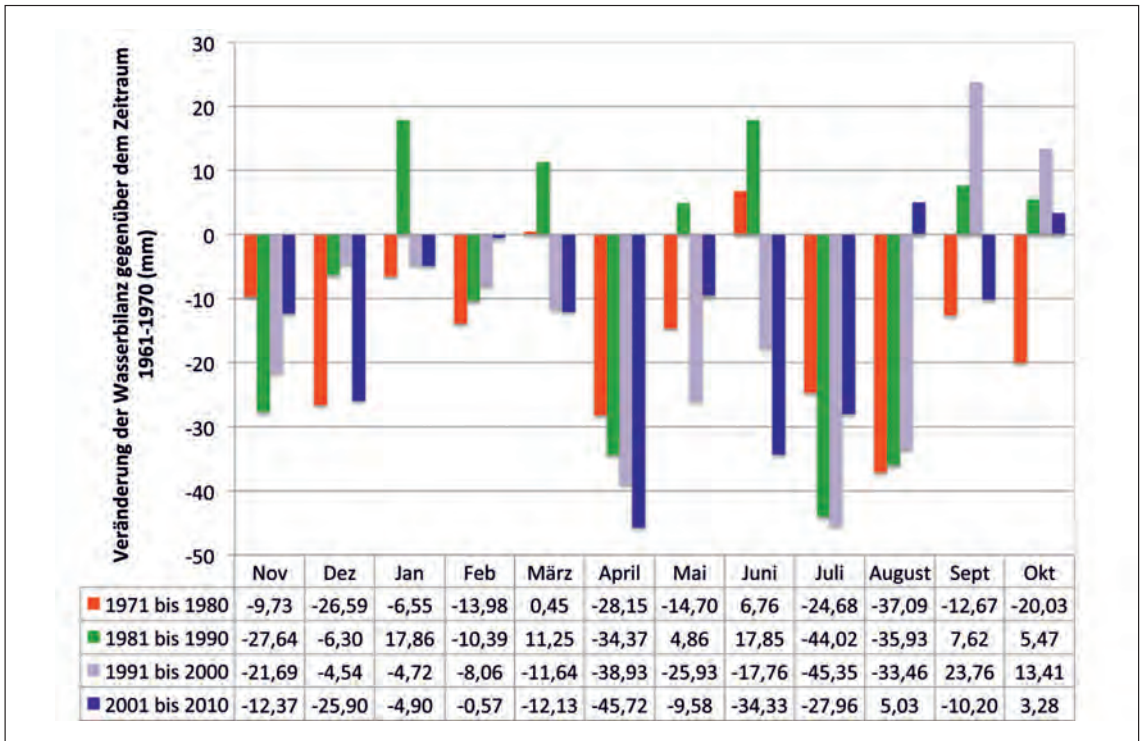


Abb. 7: Veränderung der durchschnittlichen monatlichen Wasserbilanzen der Dekaden von 1971 bis 2010 gegenüber der Dekade 1961 bis 1970

weist insbesondere in den Sommermonaten ein nur sehr geringes Defizit auf, während die Zeiträume 1971-2000 und 1981-2010 hier die höchsten Defizite aufweisen.

Abbildung 7 zeigt die Veränderungen der monatlichen Wasserbilanzen der Dekaden von 1971 bis 2010 gegenüber der Dekade 1961 bis 1970. Für alle vier Dekaden zeigt sich über alle Monate eine eindeutige Reduzierung der Wasserbilanz gegenüber der Vergleichsdekade. Insbesondere in den Sommermonaten ist das Defizit in den letzten beiden Dekaden deutlich gestiegen.

In Abbildung 8 ist die Differenz der monatlichen Wasserbilanz zur langjährigen mittleren, monatlichen Bilanz als Zeitreihe dargestellt. Neben dem Trend ist hier der gleitende, 10jährige Mittelwert exemplarisch dem Grundwassergang an der Messstelle P 131 gegenübergestellt. Der langjährige Trend der Wasserbilanz ist schwach rückläufig. Der Verlauf des 10jährigen gleitenden Mittelwertes korreliert dabei auffällig gut mit dem Verlauf des Grundwasserstandes in der Messstelle P 131.

In den 1960er Jahren, in welchen 1962 und 1966 die höchsten Grundwasserstände gemessen wurden, liegt die Wasserbilanz für alle Monate oberhalb des langjährigen Mittelwertes. Dabei zeigen insbesondere auch die Sommermonate keine bis nur sehr geringe Defizite. Die 1960er Jahre lassen sich damit durch hohe Überschüsse in den Wintermonaten und vor allem geringen Defiziten bis hin zu Überschüssen in den Sommermonaten am besten beschreiben.

Die 1970er Jahre sind infolge sehr geringer Niederschlagshöhen durch überdurchschnittliche Defizite in den Sommermonaten und schwach unterdurchschnittliche Wintermonate gekennzeichnet. Die in den Wintermonaten schon vorhandenen Defizite in der Wasserbilanz werden durch extrem hohe Defizite in den Sommermonaten weiter aufgezehrt und führen so zu den für die 1970er Jahre charakteristischen niedrigen Grundwasserständen.

Die Wasserbilanzen der Monate Januar, März und Juni in den 1980er Jahren zeigen überdurchschnittliche Überschüsse. Die Überschüsse in den Win-

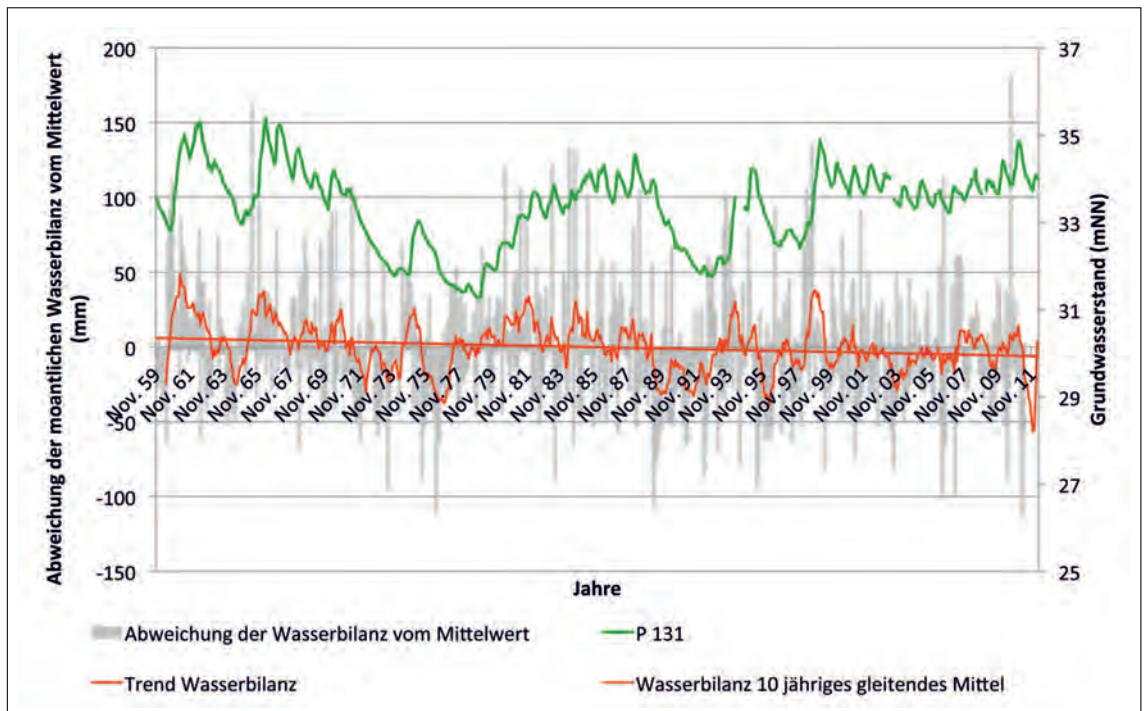


Abb. 8: Abweichung der monatlichen Wasserbilanz vom langjährigen monatlichen Mittelwert des Zeitraums 1960-2010

termonaten mit den nur geringen Defiziten in den Sommermonaten führen zu einem stetigen Anstieg der Grundwasserstände.

Ab etwa 1977 setzt eine bis weit in die 1980er Jahre anhaltende Erholung der Wasserstände ein, die im Jahr 1988, nach den 1960er Jahren, in langjährige Höchststände mündet. Von 1989 bis 1993 führen Defizite in der Wasserbilanz wieder zu sinkenden Grundwasserständen. Insgesamt sind die 1990er Jahre, ähnlich wie die 1960er Jahre, durch Zeiten höherer Überschüsse wie Defizite gekennzeichnet. Allerdings führten die Überschüsse nicht zu den hohen Grundwasserständen wie in den 1960er Jahren. Erst erhebliche Überschüsse in der Wasserbilanz im Spätsommer 1998 führten im November 1998 wieder zu sehr hohen Wasserständen.

In den Jahren 2001 bis 2010 liegt die monatliche Wasserbilanz nur in den Monaten Februar, August und Oktober oberhalb des langjährigen Mittelwertes, alle anderen Monaten liegen niedriger als der Mittelwert. Insbesondere die Sommermonate sind aber häufig defizitär. Lediglich der Monat August zeigt ab dem Jahr 2001 meist erhebliche Überschüsse. Erst ab 2007 liegt die Wasserbilanz überwiegend oberhalb des Mittelwertes.

In den Grundwasserständen spiegelt sich dies in geringen jährlichen Schwankungen mit einem schwachen Abfall Anfang der 2000er Jahre und dann einem tendenziellen Anstieg ab 2007 bis Ende 2010 wider. Die höchsten Wasserstände werden nach den hohen Überschüssen im Sommer 2010, hier insbesondere im August und im November 2010 bzw. Januar 2011, erreicht.

5 Entwicklung der Grundwasserstände

5.1 Der natürliche Gang des Grundwassers

Der Grundwasserstand an einem Ort ändert sich mit der Zeit. Die Änderungen des Grundwasserstandes resultieren dabei wesentlich aus dem Anteil des Niederschlagswassers, der, nach Abzug der Verdunstung und des Oberflächenabflusses, durch die Bodenschichten hindurch annähernd senkrecht zum Grundwasser sickert.

Etwa 90 % der Grundwasserneubildung erfolgt außerhalb der Vegetationsperiode in den Wintermo-

nat. Niedrigere Temperaturen und fehlende Transpiration der Pflanzen führen dazu, dass fast keine Verdunstung stattfindet, und somit ein Großteil des Niederschlagswassers der Neubildung zur Verfügung steht. Die Sommerperiode ist dagegen in der Regel durch ein Defizit gekennzeichnet. Die Grundwasserneubildung ist damit extrem von den Faktoren Niederschlag und Temperatur abhängig. Der saisonale Einfluss der klimatischen Faktoren führt zu einem ausgeprägten Jahresgang des Grundwassers mit ansteigenden Wasserständen vom Herbst bis in das folgende Frühjahr und fallenden Grundwasserständen vom Sommer bis zum Herbst.

Veränderungen des Grundwasserstandes werden aber auch durch horizontale Fließbewegungen im Grundwasserleiter selbst hervorgerufen. Das Grundwasser fließt im Allgemeinen mit sehr geringer Geschwindigkeit seinem Gefälle folgend von einem Hochpunkt – z.B. der oben genannten Grundwasserscheide – in Richtung auf einen Tiefpunkt. Dieser wird im Raum Krefeld von dem Vorfluter Rhein im Osten und im Westen von Niers und Maas gebildet.

Ist die Zusickerung aus der Grundwasserneubildung größer als der horizontale Abfluss, kommt es zu einem Anstieg der Grundwasserstände. Diese Situation liegt meist in den Wintermonaten vor. Umgekehrt haben die defizitären Sommermonate mit einer meist fehlenden Neubildung, bei einem stetigen horizontalen Strömen des Grundwassers, sinkende Grundwasserstände zur Folge.

5.2 Entwicklung der Grundwasserstände seit 1900

Im Wasserwirtschaftsraum Krefeld werden heute von verschiedenen Betreibern (z.B. SWK, LINEG, Industrie) an über 800 Grundwasserstandsmessstellen regelmäßig die Grundwasserstände ermittelt. Für die vorliegende Auswertung wurden nur Messstellen (Abb. 2) herangezogen, die über den Zeitraum von 1960 bis 2011 eine nahezu vollständige Zeitreihe mit mindestens monatlichen Messungen aufweisen. Für einige wenige Messstellen existieren im Stadtgebiete Datenreihen, die bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts zurückreichen.

Um eine anthropogene Beeinflussung des Grundwasserstandes zu bewerten, ist nicht der Wasser-

stand bezogen auf mNN von Bedeutung. Vielmehr sind Abweichungen zum Verlauf des natürlichen und nahezu unbeeinflussten Grundwasserganges entscheidend. Deswegen liegt der Schwerpunkt der Bewertung nicht auf den jahreszeitlichen, das heißt durch die Sommer- und Wintermonate beeinflussten Schwankungen, als vielmehr auf der langjährigen Entwicklung des Grundwasserganges. Zum besseren Vergleich wurde von jeder Messstelle zunächst der mittlere Grundwasserstand des Zeitraumes 1960 bis 2011 gebildet. Von den monatlich gemessenen Grundwasserständen wurde der Mittelwert abgezogen, so dass eine den Mittelwert auf 0 bezogene Skalierung entsteht, die einen direkten Vergleich der Datenreihen ermöglicht. Positive Zahlen stellen Grundwasserstände oberhalb und negative Zahlen Grundwasserstände unterhalb des Mittelwertes dar.

Die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände für den Zeitraum 1960 bis 2011 an ausgewählten Messstellen zeigt Abbildung 9. Die Messstellen (Abb. 2) repräsentieren überwiegend die Situation im westlichen Stadtgebiet. Der Grundwasser-

gang für diesen Zeitraum lässt sich exemplarisch an der weitestgehend anthropogen unbeeinflussten Grundwasserstandsmessstelle St. Tönis westlich Krefeld beschreiben. Die Messstelle liegt im Bereich der Grundwasserscheitelzone von Rhein und Maas, so dass die Entwicklung des Grundwasserstandes wesentlich die klimatische Entwicklung widerspiegelt.

In den 1960er Jahren liegen die Grundwasserstände in der Regel auf einem Niveau oberhalb des langjährigen Durchschnittes. In den Jahren 1962 und, unterbrochen von einem stärkeren Absinken der Grundwasserstände, 1966 wurden absolute Höchstwerte erreicht. In den 1970er Jahren führt eine Folge niederschlagsarmer Jahre zu einem starken Absinken der Grundwasserstände. In den Jahren 1973/74 und 1977/78 wurden die absolut niedrigsten Grundwasserstände ermittelt. Ab 1978 ist bis zum Ende der 1980er Jahre ein stetiger Anstieg der Grundwasserstände zu beobachten.

Die 1990er Jahre zeigen auf einem höherem Niveau, analog zu den der 1970er Jahre, wieder sehr

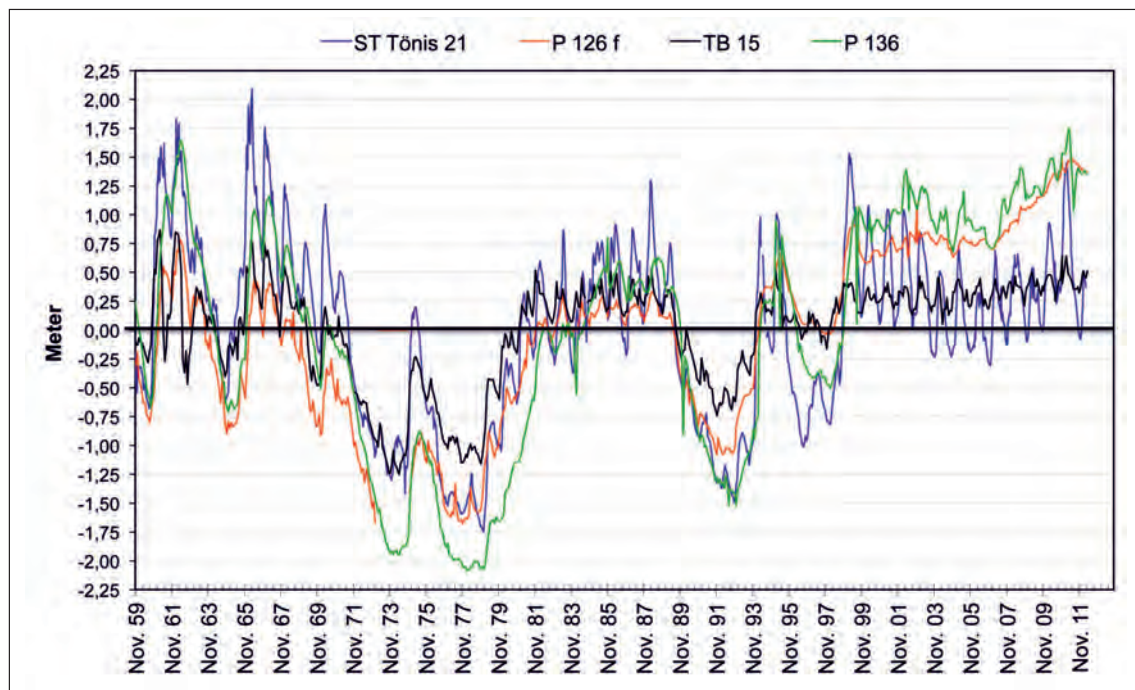


Abb. 9: Auf den Mittelwert skalierte Zeitreihen der Grundwasserstände im Westen der Stadt Krefeld für den Zeitraum 1960 bis April 2012

unterdurchschnittlich hohe Grundwasserstände. Ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau führen extrem schnell ansteigende Grundwasserstände dann im Jahr 1999 wieder zu überdurchschnittlich hohen Wasserständen.

Ab dem Jahr 2000 liegen die Grundwasserstände dann mehr oder weniger auf einem oberhalb des langjährigen Durchschnittes liegenden Niveau. Der Grundwassergang zeigt einen nahezu konstanten langjährigen Verlauf, der nur durch den ausgeprägten jahreszeitlich bedingten Verlauf geprägt ist.

Im Wasserwirtschaftsjahr 2011 kommt es als Folge eines Starkregenereignisses im November 2010 mit fast 43 mm Niederschlag in einer Stunde, das auf ohnehin schon sehr hohe Grundwasserstände „aufsetzte“, nochmals zu einem überdurchschnittlich hohen Grundwasserstand. Gerade in Gebieten mit geringen Flurabständen führte dies zu Vernässungen an Gebäuden.

In Bezug auf die absolute Höhe der Grundwasserhöchststände lässt sich für die Messstelle St. Tönis folgende Reihenfolge für die Grundwasserhöchststände aufstellen: 1967 > 1962 > 1966 > 1999 > 2011 > 1988. Der oftmals als höchster Grundwasserstand angenommene Wasserstand des Jahres 1988 liegt für die oben genannte Messstelle 0,79 m niedriger als der Grundwasserstand aus dem Jahr 1967.

Bei der Entwicklung der Grundwasserstände nach 2000 lassen sich aber räumliche Differenzen erkennen. Unabhängig von der Höhe der jahreszeitlichen Schwankungen, fällt hier insbesondere die Messstelle P 126 (Stadthaus) im Westen von Krefeld auf. An der Messstelle sind im Vergleich zu der unbeeinflussten Messstelle St Tönis ab 2006 deutliche und kontinuierliche Grundwasserstandsanstiege zu beobachten. In der Messstelle werden die absoluten Grundwasserhöchststände der Jahre 1962 bzw. 1966 überschritten. Wie ein Vergleich mit anderen Messstellen zeigt (Tab. 3), lässt sich dieses auch an anderen Messstellen im Westen von Krefeld beobachten.

Eine Ursache für den Anstieg der Grundwasserstände der letzten sechs Jahre kann zunächst in der Reduzierung und letztlich in der Stilllegung der Förderung eines größeren industriellen Entnehmers im Jahr 2008 und der Reduzierung der Entnahmen der WGA I im Bereich Kempener Allee seit etwa 2005 gesehen werden.

Für den Bereich Forstwald liegen Aufzeichnungen von Messungen der Grundwasserstände seit 1885 und damit seit Inbetriebnahme der WGA II durch die heutigen SWK Stadtwerke Krefeld AG vor. Beispiele für die Entwicklung der Grundwasserstände seit Anfang des 20. Jahrhunderts zeigt die Abbildung 10 mit den Messstellen P 205 und 225.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Grundwasserhöchststände ausgewählter Grundwasserstandsmessstellen

Messstelle	Grundwasserstand 2011 höher als		
	1926	1962/1966	1988
P 201	ja	ja	ja
P 203, P 224	nein	nein	ja
P 205	ja	ja	ja
P 225	nein	nein	–
St. Tönis, P 529	–	nein	nein
P 136, P 108 f, P 125, P 126, P 238, P 411, L 729, Traar, TB 4	–	ja	ja
P 131, P 128 f, P 240, P 241, TB 15, P 501	–	nein	ja
L 728, TB 1, P 403	–	nein	nein

Die Messstelle P 205 liegt nahe der im Jahr 2001 stillgelegten WGA Südpark und die weiter westlich gelegene Messstelle P 225 im Einzugsgebiet der heute noch in Betrieb befindlichen WGA Forstwald (Abb. 2).

Die höchsten Grundwasserstände des 20. Jahrhunderts wurden im Raum Krefeld in den Jahren 1904, 1906, 1907 und 1926/1927 gemessen. Die Grundwasserhochstände der Jahre 1962, 1966, 1988, 1999 und 2011 stellen, bezogen auf die Zeit nach 1950, absolute Höchststände dar; in Relation zu den Messungen aus dem Zeitraum vor 1940 liegen sie jedoch – bedingt durch abgesunkene Grundwasserstände – auf einem um 1 bis 1,5 m tieferen Niveau.

Zu Beginn der Aufzeichnungen liegt der Wasserstand am P 205 auf dem Niveau der Messstelle P 225; ab Mitte der 1960er bis in die 1970er Jahre hinein dann unterhalb des Grundwasserstandes am P 205. Bis in die Mitte der 1990er Jahre liegen die Grundwasserstände wieder auf vergleichbarem Niveau. Beginnend mit der Reduzierung der Fördermengen in der WGA Südpark in den 1990er Jahren

und der Einstellung des Betriebes im Jahr 2001 ist ein erheblicher Anstieg der Grundwasserstände in der Messstelle P 205 zu beobachten. Die extrem hohen Wasserstände zu Beginn des 20. Jahrhunderts werden wieder erreicht, wohingegen in den Messstellen P 225, nach wie vor unter dem Einfluss der WGA Südpark, die extrem hohen Wasserstände zu Beginn des 20. Jahrhunderts nicht erreicht werden.

Das Beispiel zeigt, dass die höchsten gemessenen Grundwasserstände zu Beginn des letzten Jahrhunderts wieder erreicht werden können. Und dies, obwohl sich die zu Beginn des 20. Jahrhunderts gemessenen hohen Grundwasserstände unter anderen wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen entwickelt hatten. Hier sind vor allem die niedrigeren Niederschlagshöhen und die geringeren Grundwasserentnahmen zu nennen. Das Erreichen der Grundwasserstände aus der Zeit zu Beginn des 20. Jahrhunderts zeigt deutlich, wenn auch räumlich begrenzt, welches (Konflikt-) Potenzial sich auch unter den heutigen wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen entwickeln kann.

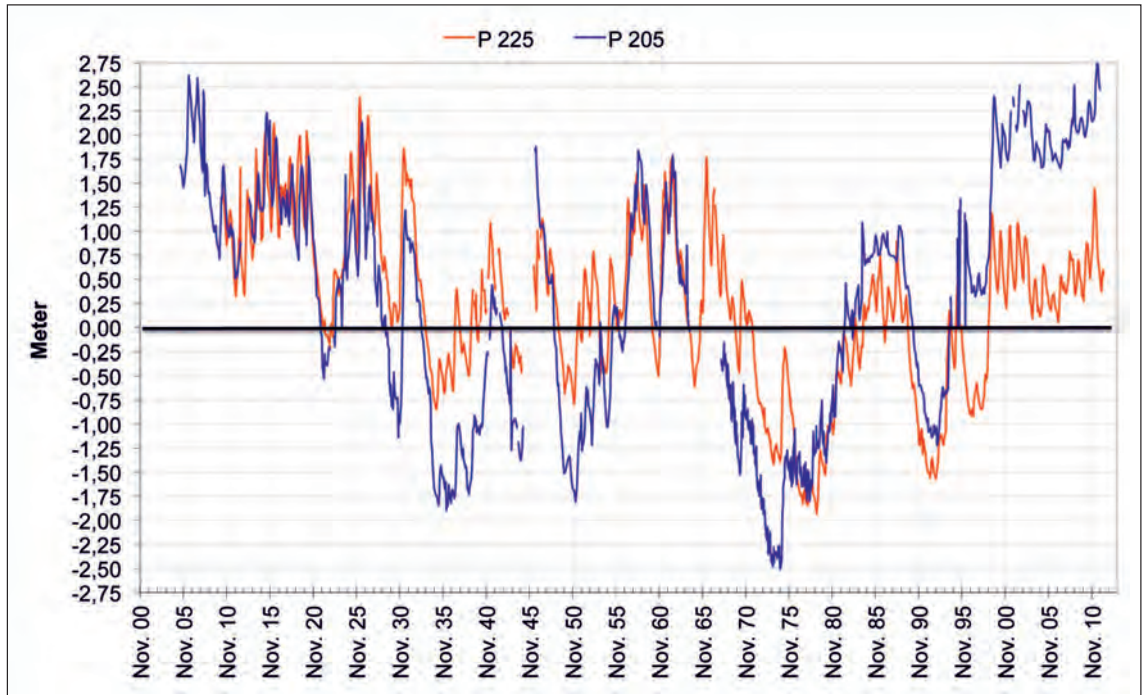


Abb. 10: Auf den Mittelwert skalierte Zeitreihen der Grundwasserstände im Südwesten der Stadt Krefeld für den Zeitraum 1905 bis April 2012

6 Diskussion der Ergebnisse für den Raum Krefeld

Die Beschreibung der verschiedenen auf die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände einflussnehmenden Faktoren soll im Folgenden diskutiert werden. Zunächst ist festzuhalten, dass:

- im Südwesten von Krefeld lokal die höchsten in den letzten 100 Jahren dokumentierten Grundwasserstände von Anfang des letzten Jahrhunderts erreicht werden. Diese lagen zudem deutlich oberhalb der allgemein als Grundwasserhöchststände betrachteten Wasserstände aus den 1960er Jahren,
- im Westen Krefelds die Grundwasserstände aktuell auf oder über dem Niveau der Grundwasserstände aus den 1960er Jahren liegen.

Die Trends der klimatischen Rahmenbedingungen sind sehr unterschiedlich und spiegeln anschaulich die hohe Variabilität der Klimafaktoren wider:

- Die Entwicklung der Niederschlagsmengen seit Aufzeichnungsbeginn im Raum Krefeld ist positiv. Gegenüber dem 150jährigen Mittelwert fallen heute im Durchschnitt rund 70 mm mehr Niederschlag. Daraus resultierend liegen heute höhere Grundwasserneubildungsraten vor als noch vor 150 Jahren.
- Die Entwicklung der Niederschlagssummen der letzten 50 Jahre zeigt einen schwachen Anstieg. Es ist eine geringfügige jahreszeitliche Umverteilung der Niederschläge zu beobachten. Eindeutige und signifikante Trends sind aber nicht abzuleiten. Fallende Niederschlagsmengen sind insbesondere in den Monaten April, Juni und September zu beobachten, steigende in den Monaten Februar, März und Oktober.
- Die klimatische Wasserbilanz zeigt seit 1960 eine hohe Variabilität. Tendenziell ist diese gefallen. Aufgrund der durchweg seit den 1990er Jahren gestiegenen Temperaturen ist die Verdunstung gestiegen und führt letztlich zu einem negativen Trend in der Wasserbilanz. Die jährliche Grundwasserneubildung hat tendenziell abgenommen. Dieser Trend ist im Winterhalbjahr, in dem überwiegend die Grundwasserneubildung erfolgt, höher ausgeprägt als im Sommerhalbjahr.

- Für die Entwicklung der monatlichen Niederschläge sind sowohl Monate mit positiven wie negativen Trends dokumentiert. Einen eindeutigen positiven Trend zeigt der Monat Oktober, wohingegen der März einen eindeutig negativen Trend aufweist.

Die tendenziell abnehmende Wasserbilanz darf dabei aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass insbesondere geringere Defizite in den Sommermonaten in den letzten Jahren insgesamt dazu geführt haben, dass die Grundwasserstände auf einem recht einheitlichen und damit hohem Niveau liegen. Dies ist für die Entwicklung der Grundwasserhöchststände von Bedeutung, da sich diese meist entwickeln, wenn die klimatisch bedingten Defizite in den Sommermonaten gering sind bzw. ein Überschuss vorhanden ist und hat jeweils in den 1960er Jahren wie auch zum Jahreswechsel 2010/2011 zu den höchsten Grundwasserständen geführt. Pauschale Aussagen, dass ein Anstieg der Grundwasserstände allein mit der Höhe der Niederschläge korrespondiert, sind nicht zutreffend. Entscheidend sind Verschiebungen in den Einzelmonaten in Verbindung mit der Wasserbilanz.

Weitere Veränderungen der wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind mit dem Prozess der Urbanisierung verknüpft:

- Die Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung und deren Begleiterscheinungen haben insbesondere nach dem Zweiten Weltkrieg zu einem hohen Flächenverbrauch mit zunehmender Bodenversiegelung und damit zu einer Reduzierung der Grundwasserneubildung geführt.
- Die Grundwasserentnahmen haben sich seit Ihrem Maximum in den 1970er Jahren heute um die Hälfte reduziert. Gegenüber 1975 liegen die aus dem Grundwasser geförderten Mengen heute mit rund 22 Mio. Kubikmeter und gegenüber den 1960er Jahren mit rund 10 Mio. m³ pro Jahr niedriger. Erforderliche Absenkungen des Grundwassers zur Trockenhaltung von Kellern sind daran aber heute mit rund 4 Mio. m³ beteiligt.
- Aufgrund einer eher tendenziell weiterhin sinkenden Bevölkerungszahl ist zukünftig mit einer weiteren Abnahme insbesondere der öffentlichen Trinkwasserversorgung zu rechnen.

- Mittelfristig neutral bis positiv wird sich auch die Sanierung des Kanalnetzes auswirken. In Bereichen mit hohen Flurabständen führt die Sanierung zu geringeren Rohrnetzverlusten, insbesondere in Bereichen mit geringen Flurabständen verlieren vormals defekte Kanäle ihre dränierende Wirkung, was sich lokal in deutlichem Ansteigen der Grundwasserstände widerspiegeln kann.
- Gesetzliche Änderungen zur Versickerung von Niederschlagswasser im Jahr 1991 führen zu einer Zunahme der Anzahl von Versickerungsanlagen. Die Versickerung von Niederschlagswasser hat zu einer verstärkten Abkopplung von versiegelten Flächen vom Abwassernetz geführt und letztlich gegenüber dem zurückliegenden Zeitraum zu einer relativ betrachtet wieder erhöhten „Grundwasserneubildung“ beigetragen.

Bei allen Bewertungen ist immer zu berücksichtigen, dass die langjährigen natürlichen Schwankungen des Grundwassers im Raum Krefeld schon bei 3 bis 4 m liegen können. So sind die Grundwasserstände vom Spätsommer 2013 gegenüber den hohen Grundwasserständen vom Januar 2011 schon wieder um rund 1,5 m gefallen.

Lassen sich aus den Daten Hinweise auf eine Veränderung der langjährigen Entwicklung der Grundwasserstände ableiten und lassen sich diese eindeutig einem „Verursacher“ zuordnen? Diese Frage muss räumlich differenziert betrachtet werden.

Die Auswertung der Klimadaten gibt über den Zeitraum der letzten 50 Jahre keine Hinweise darauf, dass diese zu einem Anstieg der Grundwasserstände geführt haben. Die Entwicklung der klimatischen Rahmenbedingungen der letzten 30 Jahre hat auf den Wasserhaushalt eher neutrale bis negative Auswirkungen, ohne dass man diese aktuell quantifizieren kann. Nach einem Szenario von GERSTENGARBE & WELZER (2013) werden sich diese Auswirkungen jedoch in Zukunft weiter verstärken. Die Auswirkung des Klimawandels auf die Entwicklung der Grundwasserstände lassen sich aktuell abschließend nicht bewerten. Dafür sind die Zusammenhänge zwischen Klima und Grundwasser einerseits zu komplex; andererseits liegen eine Vielzahl anderer stichhaltiger Gründe vor, warum die Grundwasserstände angestiegen sind.

Hohe Überschüsse in der Wasserbilanz zum Ende der 1990er Jahre haben die Grundwasserstände insgesamt aber auf ein hohes Niveau geführt. In den Folgejahren führen geringe Schwankungen der Wasserbilanz und hier insbesondere die geringen Defizite in den Sommermonaten dazu, dass die Grundwasserstände nur noch geringen Schwankungen auf hohem Niveau unterliegen; und dies bei insgesamt unterdurchschnittlicher Wasserbilanz.

Die Ursachen für diese Anstiege sind daher aktuell in den wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu suchen. Die Faktoren, die Einfluss auf die Entwicklung der Grundwasserstände haben, haben sich in den letzten 20 Jahren so verändert, dass insgesamt dem System ein „Mehr“ an Wasser zur Verfügung steht. Die höchste Gewichtung kommt dabei den reduzierten Fördermengen zu.

Die klimatische Entwicklung der letzten Jahre wirkt sich stabilisierend auf die Grundwasserstände aus, das heißt diese werden auf einem gleichbleibendem hohem Niveau gehalten. Gerade für die Bereiche mit geringen Flurabständen können dann Starkregenereignisse schnell zu Grundwasserhöchstständen führen. Auch alle anderen, die Höhe der Grundwasserstände beeinflussenden Faktoren, wirken erhöhend auf die langjährige Entwicklung, ohne dass man deren Anteile quantitativ fassen und beschreiben kann. Es sind, mit Ausnahme der Reduzierung der Fördermengen, eher die kleinen, aber kontinuierlich positiven Beiträge, die das insgesamt hohe Niveau der Grundwasserstände hoch hält.

Ein Hauptgrund ist in den erheblich reduzierten Entnahmemengen an Brauchwasser zu suchen. Diese lagen in den 1960er und 1970er Jahren gegenüber 2010 auf einem um 70 bis 90 % höherem Niveau. Daraus ergibt sich aber eine entscheidende Frage. Wie konnten sich unter dem Einfluss der seinerzeit hohen Fördermengen die hohen Grundwasserstände im Stadtgebiet entwickeln? Und sind die in den 1960er Jahren allgemein als Grundwasserhöchststände, zum Beispiel für die Bemessung der Abdichtung von Gebäuden gegen Grundwasser, angenommenen „Höchststände“ überhaupt noch repräsentativ?

Die hohen Grundwasserstände der 1960er Jahre sind insbesondere eine Folge hoher Niederschläge und, ganz entscheidend, eine Folge positiver Was-

serbilanzen in den Sommermonaten. Mit anderen Worten: die hohen Grundwasserstände haben sich aufgrund sehr positiver klimatischer Rahmenbedingungen im Umfeld sehr hoher Fördermengen entwickeln können.

Wenn aktuell aber die Fördermengen erheblich reduziert wurden und, wie oben beschrieben, andere Rahmenfaktoren mindestens neutral bis schwach positiv, das heißt erhöhend, auf die Entwicklung der Grundwasserstände wirken, so müssen bei heute reduzierten Fördermengen zwangsläufig die hohen Grundwasserstände der 1960er Jahre wieder erreicht werden. Da die industriellen Förderungen einen Schwerpunkt auf der Mittelterrasse und damit im Krefelder Westen hatten, ist zu erwarten, dass es von hier ausgehend zu steigenden Grundwasserständen kommt. Davon betroffen wären dann insbesondere die ehemals grundwassernahen Standorte, die unmittelbar östlich des Überganges von der Mittel- zur Niederterrasse im Raum Inrath, Verberg und nördlichem Stadtzentrum liegen.

Diese Situation trifft lokal auch für den Südwesten im Bereich der ehemaligen Fassungsanlage Südpark zu. Hier werden an Grundwassermessstellen in der Nähe der ehemaligen Fassungsanlage heute die Grundwasserstände zu Beginn des 19. Jahrhunderts erreicht. Daraus resultiert zukünftig ein erhebliches Konfliktpotenzial, da erwartet werden kann, dass die zum Jahreswechsel 2010/11 gemessenen Grundwasserhöchststände keine Einzelfälle sind.

Setzt man die Lebenserwartung von Wohngebäuden mit durchschnittlich 75 Jahren an, kann man erahnen, welche Auswirkungen prognostizierte steigende Grundwasserstände infolge des Klimawandels gerade im Bereich grundwassernaher Standorte haben werden. Neuere Studien (KLIWA 2012) dokumentieren dabei eine räumlich starke Differenzierung, so dass pauschale Aussagen für die zukünftige Entwicklung auf die Grundwasserstände für den Raum Krefeld nicht zu treffen sind. Aktuell dürften aber die rückläufigen Förderungen aus dem Grundwasser der entscheidende Einflussfaktor für die steigenden Grundwasserstände sein.

Ob diese Tendenz letztlich wieder zu den natürlichen Grundwasserständen führt, wie sie vor der industriellen Entwicklung zu Beginn des 19. Jahr-

hunderts bestanden haben, bleibt abzuwarten. Aufgabe muß es weiterhin im öffentlichen Interesse sein, diese Entwicklung sehr sorgfältig durch die Beobachtung des bestehenden Grundwassermessstellennetzes zu verfolgen. Eine Ausdünnung der Beobachtung in der Fläche und dem Rhythmus sollte unterbleiben.

7 Schriftenverzeichnis

BWK (2009): Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes für Bauwerksabdichtungen. BWK Merkblatt 8: 27 S.; Sindelfingen.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., DWA (2011): Wirkung und Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt. – DWA-Themen T1/2011: 142 S.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): Climate Change 2001: The scientific version (print version). – www.ipcc.ch.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2008): Climate Change and Water. IPCC Technical Paper VI.: 200 S. (abgerufen am: 12.02.2012 unter <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC2007-SYR-german.pdf>).

GERSTENGARBE, F.-W. & WELZER, H. (Hrsg.) (2013): Zwei Grad mehr in Deutschland. Wie der Klimawandel unseren Alltag verändern wird. – 318 S., Fischer Taschenbuch.

HAUDE (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – Mitt. deutsch. Wetterd. 2; Bad Kissingen.

KLIWA (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz.; Heft 17: 113 S.

LANUV NRW (2010): Flächenentwicklung in Nordrhein-Westfalen – Berichtsjahr 2009.

LANUV NRW (2010): Extremwertstatistische Untersuchungen von Starkniederschlägen in NRW (EXUS)-Veränderung in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ereignisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit. Abschlussbericht: 301 S.

LANUV NRW (2011): Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen; LANUV-Fachbericht 27. Potsdam-Institut für Klimafolgen: <http://klimafolgenonline.com> (abgerufen am: 25.05.2013).

RAPP, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. – Bericht Deutscher Wetterdienst Nr. 212; 145 S., 56 Abb., 19 Tab.; Offenbach.

RAPP, J. & SCHÖNWIESE, Ch-D. (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990. – Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie B, Bd. 5: 255 S.; Frankfurt a.M.

RÖRMERMANN, H. (1986): Grundwasser am Niederrhein – Gleichen und Gannglinien. – Natur am Niederrhein (2): 60-71, 5 Abb.; Krefeld.

RÖRMERMANN, H. (2004): Die Tranchot-Müffling-Karten: Darstellung der Grundwasserverhältnisse und ihre aktuelle Planungsrelevanz. – Geohistor. Blätter, Heft 7: 17-32, 8 Abb., 2 Tab.; Berlin.

SCHÖNWIESE, Ch-D. (1995): Klimaänderungen. – 244 S. (Springer Verlag)

STROTMANN, R. (1997): Hydrologische Auswirkungen der Siedlungsentwicklung auf den Wasserkreislauf am Beispiel der Stadt Krefeld über den Zeitraum von 1800 bis 1995. – Dissertation RWTH Aachen, 168 S., 25 Tafeln, 16 Anlagen; Aachen.

STROTMANN, R. & HOLL-HAGEMIEER, C. (2002): Krefelds Grundwasser. – Stadtwerke Krefeld AG (Hrsg.): Krefelder Wasser – 125 Jahre zentrale Wasserversorgung. S. 29-39; Krefeld.