

# Grundwasserreservoir Senne

Mit 7 Abbildungen und 6 Tabellen

H. Joachim Bauer & Dietmar Wyrwich

## *Inhalt:*

1. Einleitung	23
2. Geologie und Hydrogeologie	24
3. Wasserhaushalt	26
3.1. Grundwasserneubildung	26
3.2. Schwankungen des Grundwassers und des Niederschlags	28
3.3. Folgerungen und Ausblick	29
4. Wasserbedarf, Wasserversorgung und Grundwasserdargebot	30
5. Grundwasserbeschaffenheit	37
6. Abwasserwertung in der Senne	38
6.1. Abwasserrückführung der Stadt Bielefeld	38
6.2. Beschaffenheit des Abwassers und Faulschlammes	39
6.3. Abwasserwertung, Auswirkungen und Interpretation	40
7. Möglichkeiten eines landeskulturellen und wasserwirtschaftlichen Ausgleichs	42
8. Konkurrierende Nutzungen des Bearbeitungsraumes	45
Literatur	49

## 1. Einleitung

Die Senne gehört zu den wichtigsten Grundwasservorkommen Nordrhein-Westfalens und wurde daher in den Landesentwicklungsplan III als besonders schutzwürdig aufgenommen. Die Aufnahme der Senne in den Landesentwicklungsplan dokumentiert, daß es sich um ein ergiebiges Grundwasservorkommen handelt, das im Verhältnis zu seiner Umgebung und seinem Versorgungsbereich überregionale Bedeutung hat. Es ist daher besonders wichtig, das Grundwasserdargebot so zu schützen, daß es auch langfristig zur Deckung des Bedarfs im Hinblick auf Güte und Menge herangezogen werden kann.

Vorliegender Aufsatz wurde u. a. zusammengestellt unter Verwendung der im Auftrag des Landesamtes für Wasser und Abfall NW von H. J. BAUER und

D. WYRWICH angefertigter Monographie »Wasserwirtschaftliche Gesamtdarstellung der Senne« (1979). Diese Arbeit befindet sich in Druckvorbereitung für die Schriftenreihe des Landesamtes für Wasser und Abfall NW.

## 2. Geologie und Hydrogeologie

Die **pleistozänen Sedimente** der Senne können generell grob in drei Abschnitte unterteilt werden. Man unterscheidet zwei Sandsequenzen, die durch mehr oder weniger mächtige Einlagerungen von Geschiebemergel getrennt sind.

Der Geschiebemergel kann größere Mächtigkeiten erreichen, aber auch völlig auskeilen, so daß beide Sandsequenzen völlig ineinander übergehen. Der unter dem Geschiebemergel liegende Sand wird als Vorschüttsand bzw. auch als älterer Sand, der über dem Geschiebemergel liegende Sand als Nachschüttsand bzw. jüngerer Sand oder oberer Sand bezeichnet (nähere Angaben bei SERAPHIM 1979).

Die quartären Sedimente liegen größtenteils auf den schwer durchlässigen mergeligen Schichten der Oberkreide (Coniac/Santon).

Die Quartärbasis fällt vom Osningrand zuerst mit einem starken, dann mit zunehmender Entfernung mit immer flacherem Gefälle nach Südwesten ein. Das Relief der Quartärbasis wird belebt durch rinnenförmige Vertiefungen, die bevorzugt eine NE-SW-Streichrichtung aufweisen. Alle Rinnen scheinen an Querstörungen und Bruchzonen des Grundgebirges gebunden zu sein.

Die Ablagerungen des Quartärs sind bestimmend für die Hydrogeologie des Bearbeitungsraumes. Ihre Lockergesteine besitzen einen freien Grundwasserspiegel und bilden stets das oberste Grundwasserstockwerk. Entscheidend für eine Nutzung im Sinne der Wasserwirtschaft ist ihre Durchlässigkeit bzw. ihr effektives Porenvolumen (Nutzporenraum). Die Durchlässigkeit hängt von der Korngrößenverteilung und der im allgemeinen durch genetische Vorgänge beeinflussten Gestalt der Porenräume ab. Im Gegensatz zu einigen periglazialen Bildungen, Moorbildungen sowie der Grundmoräne kann man alle Sande bzw. Kiese des Quartärs, gleich ob aquatischer oder äolischer Ablagerung, als gute Grundwasserleiter mit effektivem Nutzporenraum bezeichnen.

Die Verbreitung der **Festgesteine der Oberkreide** beschränkt sich auf die N-NE-E-SE-Abgrenzung des Arbeitsgebietes. Das Ausmaß der Wasserdurchlässigkeit beruht bei allen Festgesteinen (in unterschiedlichem Maß) im wesentlichen auf der Trennfugendurchlässigkeit. Die wasserwegsameren Trennfugen sind hier Kluft-, Bankungs-, Schieferungs- und Lösungshohlräume. Allgemein verbreitet und für die Wasserbewegung ebenso wichtig sind jedoch auch die oberflächennahen Auflockerungserscheinungen.

Die Festgesteine der Oberkreide, auf denen die Quartärsedimente liegen, sind hauptsächlich Tonmergel- und Mergelsteine des Santons und Coniacs. Als Grundwasserstauer verhindern sie, von Ausnahmen abgesehen, das Aufsteigen von mineralisierten Tiefenwässern. Ihre hydrologische Wirksamkeit hängt davon ab, ob:

- a) diese Gesteine bei tektonischer Beanspruchung zerbrochen, so daß wasserwegsame Trennfugen entstanden,
- b) das auf den Trennfugen eindringende Wasser quellfähige Tone antraf, die dann einen Dichtungseffekt bewirkten,
- c) die Tonsteine weitgehend plastisch auf die tektonische Beanspruchung reagierten.

Als bester Kluftgrundwasserleiter ist der im Arbeitsgebiet am Gebirgsrand in einem schmalen Streifen austreichende mergelige Kalkstein des Turons zu bezeichnen, der im Liegenden des Coniacs/Santons ein weiteres Grundwasserstockwerk darstellt. Die turonen Kalksteine sind geklüftet und teilweise verkarstet. Sie stehen mit dem Quartär dort, wo das Coniac/Santon auskeilt, teilweise hydraulisch in Verbindung.

Nach den Grundwasserhöhengleichenplänen scheint sich der **Grundwasserspiegel** etwa der Geländemorphologie anzupassen. Da sich die Fließrichtung des Grundwassers stets senkrecht zu den Grundwassergleichen einstellt, ergibt sich im natürlichen Zustand ein Abstrom zur Ems bzw. zur Lippe hin. Das Gefälle des Grundwassers liegt etwa im Bereich 1 : 250. Für Gefälleschwankungen kommen im natürlichen Zustand verschiedene Ursachen in Betracht. Geringes Gefälle weist im allgemeinen auf gute Durchlässigkeiten des Grundwasserträgers (Aquifer) hin, was primär auf die günstige Kornverteilung zurückzuführen ist. Steiles Gefälle charakterisiert schlechte Durchlässigkeiten, aber teilweise auch unvollkommene Stauhорizonte. Im Bereich starker Absenkungen ist das Grundwassergefälle hauptsächlich eine Funktion der Fördermengen. Schließlich seien noch als Beeinflussungskriterien die Mächtigkeit des Aquifers und die Morphologie des darunter liegenden Stauhорizontes erwähnt.

Die Grenze Coniac/Turon liegt im Bearbeitungsraum ausschließlich unter der quartären Lockergesteinsdeckschicht. Sie trennt zum Innern der Münsterländer Bucht die noch am Rande in hydraulischer Verbindung stehenden Grundwasserleiter des Quartärs und der Oberkreide in zwei voneinander unabhängige **Grundwasserstockwerke**. Durch das Abtauchen der Turon-Schichten unter den sog. Emscher-Mergel erfolgt zugleich auch eine hydrochemische Differenzierung. Belegt durch eine Vielzahl von Bohrungen ist das tiefe Grundwasser im gesamten Münsterschen Kreidebecken hoch mineralisiert. Parallel dem Osning ruht auf dem versalzenen Tiefenwasser eine Süßwasserkalotte. Zwischen beiden Medien hat sich im Laufe des Quartärs ein Gleichgewicht eingestellt. Die Grenzzone hat die Form einer in sich gewellten Schale. Ohne sich miteinander zu vermischen, grenzen wellpappenartig Süß- und Salzwasser aneinander (MICHEL 1969). Im unteren Grundwasserstockwerk nimmt nach der Tiefe und nach Nordwesten der Salzgehalt zu. Das Coniac/Santon schützt weitgehend den quartären Grundwasserleiter vor aufsteigendem, stark mineralisiertem Tiefenwasser. Nur im Bereich von Störungszonen, die bis an die Quartärbasis reichen, kann mineralisiertes Tiefenwasser in die quartären Ablagerungen infiltrieren, wie es z. B. im Raum Bockhorst in der nordwestlichen Nachbarschaft der Senne der Fall ist (KÖTTER 1958).

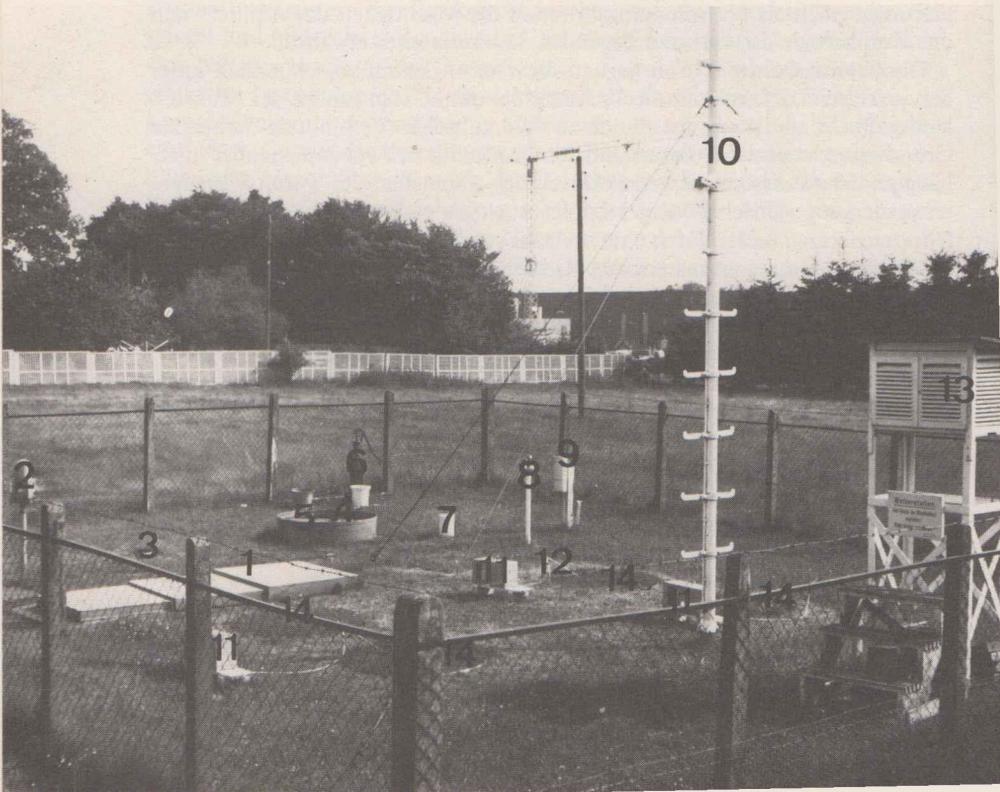
### 3. Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt eines Gebietes wird für die Gebietsoberfläche und den darunter liegenden Bodenraum untersucht, soweit dieser von Wasser erfüllt ist, das an dem Kreislauf teilnimmt. Er läßt sich quantitativ für ein Einzugsgebiet durch die Bilanz der Wassereinnahmen und -ausgaben darstellen. Die Berechnung von Haushaltgrößen wird allerdings dadurch erschwert, daß sie Funktionen von Variablen sind, die im einzelnen nur teilweise durch Messungen erfaßt werden können.

#### 3.1 Grundwasserneubildung

Die herkömmliche Ermittlung der Grundwasserneubildung aus Abflußmessungen der Fließgewässer bei Trockenwetter ist ebenso wie die Ermittlung aus Pum-

Abbildung 1: Lysimeteranlage Bielefeld-Sennestadt. 1 Zugang zu den unterirdischen Anlagen; 2 Strahlungsmesser; 3 Regenschreiber (erdbodengleich); 4 Landverdunstungskessel »Class A« mit Six-Thermometer u. Mikropegel; 5 Anemometer; 6 Pumpe und Behälter; 7 Regenschreiber in Höhe des Landverdunstungskessels; 8 Sonnenscheinautograph; 9 Regenschreiber (1 m über Gelände); 10 Windmast mit Schreiber (6 m über Gelände); 11 Tensiometer; 12 Sonde (10 cm über Gelände); 13 Wetterhäuschen mit Thermo-Hygrograph, Piche-Verdunstungsmesser und Maximum-Minimum-Thermometer; 14 Lysimeterbehälter (2,30 m hoch auf Waagen). Aufn. E. Th. Seraphim



penversuchen (Wasserwerksbetrieb) mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Bestimmte topologische Faktoren können überdies ihre praktische Anwendung ausschließen.

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung in der Senne wurden daher teilweise auch die Meßergebnisse der bei Sennestadt betriebenen wägbaren Lysimeteranlage herangezogen (s. Abb. 1).

Da der Grasbewuchs der Lysimeteranlage Senne nur für einen kleinen Teil der Senne als typisch angesehen werden kann, mußten aus der Erfahrung resultierende Korrekturfaktoren in die Ermittlungen mit eingehen. Bei den Waldflächen wurden die errechneten Sickerraten bei der Verwendung des Lysimeters Senne um 150 mm abgemindert aufgrund der Interzeption und der Entnahme von Sickerwasser durch die Baumwurzeln. Ebenso mußte eine Korrektur für die Gras/Ackerflächen erfolgen, die mit einer Reduzierung der Sickerwassermenge von 50 mm festgelegt wurde. Für lockere und dichte Bebauung wurde ein durchschnittlicher Wert von 65 % der anzusetzenden Sickerwasserrate angenommen.

Weiterhin hätte eine Reduzierung der Sickerwassermengen bei Gebieten mit hohem Grundmoränenanteil erfolgen müssen, da der Boden des Monolithen von Lysimeter 2 nicht als repräsentativ für das Arbeitsgebiet angesehen werden kann. Stattdessen wurde auf empirische Regressionsgleichungen von JOSOPAIT & LILLICH (1975) zurückgegriffen. Die für die vorliegende Arbeit verwendeten Regressionsgleichungen sind aus Tab. 1 zu ersehen.

Tabelle 1: Regressionsgleichungen zur Ermittlung der Sickerwassermengen (S)/mm im Bearbeitungsraum; N = Niederschlag.

<u>Bodenart/Bewuchs</u>	<u>Regressionsgleichung</u>
Sand/Gras, Acker	$S = (-127,4 + 0,7874 N) - 50$
Sand/Wald	$S = (-127,4 + 0,7874 N) - 150$
Geschiebelehm/Gras, Acker	$S = 1,1 N - 558$
Geschiebelehm/Wald	$S = 1,1 N - 578$

Ein besonderes Problem stellte die Ermittlung der Grundwasserneubildung in Gebieten mit oberflächennahem Grundwasserspiegel dar. Der Wasserhaushalt eines grundwassernahen Standortes unterscheidet sich nämlich stark von dem eines grundwasserfernen. An einem grundwassernahen Standort reicht die Wurzelzone zumindest zeitweilig bis an den Kapillarsaum des Grundwassers heran, so daß eine zusätzliche Wasserversorgung der Pflanzen vom Grundwasser her möglich ist. An einem grundwasserfernen Standort dagegen schöpfen die Pflanzen ausschließlich aus der ungesättigten Bodenzone oberhalb des Kapillarsaumes. Grundwasser und Kapillarsaum liegen hier außerhalb der Reichweite der Wurzeln.

Die Flächen mit Flurabständen des Grundwassers  $< 1$  m wurden wie offene Wasserflächen behandelt. Von den jeweiligen Gebietsniederschlägen wurde die

potentielle Verdunstung nach PENMAN (1948) abgezogen. Die Differenz entspricht der Grundwasserneubildung für Flächen mit hohem Grundwasserstand (Tab. 2).

Tabelle 2: Jahresmittel und mittlere Monatsmittel (mm) der potentiellen Verdunstung, Station Senne (1956-1975).

N	D	J	F	M	A
10,1	6,2	7,6	12,3	29,7	55,2
M	J	J	A	S	O
86,6	103,0	102,1	89,3	54,8	25,5
Jahr					
582,4					

### 3.2. Schwankungen des Grundwassers und des Niederschlags

Der Verlauf einer Ganglinie des Grundwassers ist das Ergebnis verschiedener Faktoren, wobei sich die einzelnen Parameter überlagern können.

Der Spiegel des Grundwassers schwankt ähnlich wie der der Oberflächengewässer. Sein Gang folgt der Niederschlagskurve mit zeitlicher Verzögerung. Die Verzögerung wird größer und die Schwankungen werden ausgeglichener, je tiefer der Grundwasserstand fällt; es sei denn, daß dieser Grundwassergang durch Entnahmen beeinflusst wird. Jede Ganglinie des Grundwasserstands zeigt auf den ersten Blick, daß das Grundwasser sich in typischer Weise bewegt und im Jahresablauf immer wiederkehrende Schwankungen - wenn auch jedesmal in veränderter Form - aufweist. Bei einem Vergleich von mehreren Grundwasser-ganglinien fallen fast immer die gleichen Abweichungen auf.

Im Bearbeitungsraum Senne werden vom Landesgrundwasserdienst Meßstellen 1. Ordnung unterhalten. Als Grundlage für eine Auswertung der Ganglinien des Grundwassers kommen in erster Linie solche Meßstellen in Frage, die als weitgehend unbeeinflusst von Wasserentnahmen u. a. angesehen werden können.

KOEHNE (1948) unterscheidet einen ozeanischen Grundwassertyp (Grundwasserhöchststände etwa im Januar) und einen kontinentalen Typ (Grundwasserhöchststände infolge Eis- und Schneeablage erst im April/Mai), die er von den klimatischen Verhältnissen ableitet. Die Ganglinien der Brunnen im Ar-

beitsgebiet können direkt keinem der KOEHNEschen Typen zugeordnet werden, da sie eine Zwischenstellung einnehmen.

Stellt man im Bearbeitungsraum den mittleren jährlichen Ganglinien des Grundwassers einiger repräsentativ erscheinender Meßstellen (Meßreihe durchschnittlich 25 Jahre) die Jahresmittel der Wasserwirtschaftsjahre 1961 bis 1977 und 1973 bis 1977 gegenüber, so stellt sich das Ergebnis größtenteils in Form eines Defizites dar.

Eine besondere Bedeutung der Niederschlagswerte besteht auch darin, daß sie nicht nur die aktuelle Kapazität eines Wasserwerkes, sondern auch das langfristig festzulegende Wasserrecht bestimmen. Fehler bei der Bestimmung des Gebietsniederschlags können daher unangenehme Folgen haben.

Arbeiten von BAUER (1977), MODEL (1978) u. a. haben zudem gezeigt, daß in den letzten Jahren mit ihren hohen Niederschlagsdefiziten die bisher angesetzten Grundwasserdargebotswerte vieler Einzugsgebiete weit unterschritten wurden. Es ist daher in Frage zu stellen, ob die Annahmen für die mittleren Jahreswerte der im Durchschnitt seit der Jahrhundertwende beobachteten Niederschlagsmeßstationen weiterhin als wichtigster Parameter herangezogen werden dürfen.

Aus diesem Grunde wurden analog den Grundwasserstandsganglinien für bestimmte Zeiträume Niederschlagsganglinien dargestellt. Es ergibt sich für die Niederschlagsmengen im Mittel folgende Abstufung:

Durchschnittliche Niederschlagsmengen der Jahre  $1973/77 < 1961/77 < 1950/77$ .

Bei der Gegenüberstellung der Ganglinien des Grundwassers und des Niederschlags zeigt sich ein Gleichlauf der langjährigen Schwankungen mit der Einschränkung, daß die Grundwasserstände mit einer Verzögerung von etwa einem Jahr reagieren, wobei dann durch das Speicher- und Rückhaltevermögen des Aquifers bereits ein gewisser Ausgleich eingetreten ist. Extremwerte in den einzelnen Jahren werden meist ausgeglichen, summieren sich aber in länger anhaltenden Trockenjahren.

Neben dem Niederschlag stehen natürlich auch noch andere den Grundwasserstand beeinflussende Parameter, die größtenteils aus zivilisatorischen Maßnahmen resultieren (z. B. Straßenbau, Vorfluterausbau, Drainagen).

### 3.3. Folgerungen und Ausblick

Für jeden Grundwasserleiter gilt grundsätzlich, daß die Entnahmemenge nicht größer sein darf als die mittlere Grundwasserneubildung. Die Grundwasserneubildung stellt hierbei jedoch zunächst keine konstante Größe dar, denn sie kann sich innerhalb bestimmter Grenzen auf die Entnahmen einstellen. Diese Adaption wird durch die Grundwasserabsenkung ausgelöst, was folgendes bewirkt:

1. Das Einzugsgebiet vergrößert sich durch die Verschiebung des Absenktrichters.
2. Die Vergrößerung der Flurabstände bewirkt, daß die Pflanzen, deren Wurzeln vormals bis in den Grundwasserbereich gelangen konnten, nun nicht mehr diesen in Anspruch nehmen (nutzbarer Anteil der Neubildung vergrößert sich).
3. Die Oberflächengewässer, die vor der Grundwasserabsenkung als Vorfluter fungierten, infiltrieren nun in den Grundwasserleiter.

Je tiefer das Grundwasser absinkt, desto größer wird zunächst die Grundwasserneubildung. Sinkt die Grundwasseroberfläche jedoch unter die Gewässer-  
 sohle der Vorfluter ab und sind die Flurabstände im Einzugsgebiet größer als etwa 5 - 6 m geworden, so hat der nutzbare Anteil der Grundwasserneubildung den maximalen Wert erreicht. Bei weiterer Beanspruchung ist der Grundwasserleiter überbeansprucht und die Förderung geschieht aus den Rücklagen (ARMBRUSTER et al. 1977).

Dieser potentiell zu erwartende Zustand darf auf keinen Fall eintreten, denn dann ist sehr schnell mit Versorgungsengpässen in längeren Trockenperioden zu rechnen.

#### 4. Wasserbedarf, Wasserversorgung und Grundwasserdargebot

Die ersten zentralen **Wasserversorgungsanlagen** im Bearbeitungsraum wurden etwa zu Ende des vorigen Jahrhunderts in Betrieb genommen. Heute verfügen die meisten Gemeinden bzw. Städte über eine zentrale Wasserversorgung oder sie sind an eine Gruppenwasserversorgung angeschlossen. Ausnahmen bilden nur noch einzelne Gehöfte und auch Betriebe, die im Besitz eigener Brunnenanlagen sind. Nachdem im Jahre 1890 das Wasserwerk I der Stadtwerke Bielefeld in Senne II (heute Bielefeld-Sennestadt) in Betrieb genommen wurde, entwickelte sich die Wasserförderung im Bearbeitungsraum kontinuierlich, wie aus Abb. 2 hervorgeht (vgl. Tab. 3). Zur Deckung des im Jahre 2000 zu erwartenden Trink- und Brauchwasserbedarfs der Stadt Bielefeld von über 30 Mio m<sup>3</sup>/Jahr müssen jedoch weitere Förderungsmöglichkeiten erschlossen werden. In Planung sind zur Zeit die in Tab. 4 aufgeführten Projekte.

Der im Jahre 1963 abgeschlossene Bau des Wasserwerkes Bielefeld V Südfassung führte zu einer Kollision der Interessen mit den Stadtwerken Paderborn, die in dem gleichen Einzugsbereich ein Wasserwerk in Planung hatten. Zum Interessenausgleich wurde im Jahre 1965 eine Verbundleitung zwischen den Transportnetzen der Stadtwerke Bielefeld und der Stadtwerke Paderborn hergestellt. Bis zum Jahre 1972 wurden etwa 50 % der geförderten Wassermenge des Wasserwerkes V Süd an die Stadt Paderborn abgegeben. Im Jahre 1973 haben die Stadtwerke Paderborn, die erfolgreich aus einigen Tiefbohrungen fördern, die Lieferung von Trink- und Brauchwasser an die Stadtwerke Bielefeld aufgenommen.

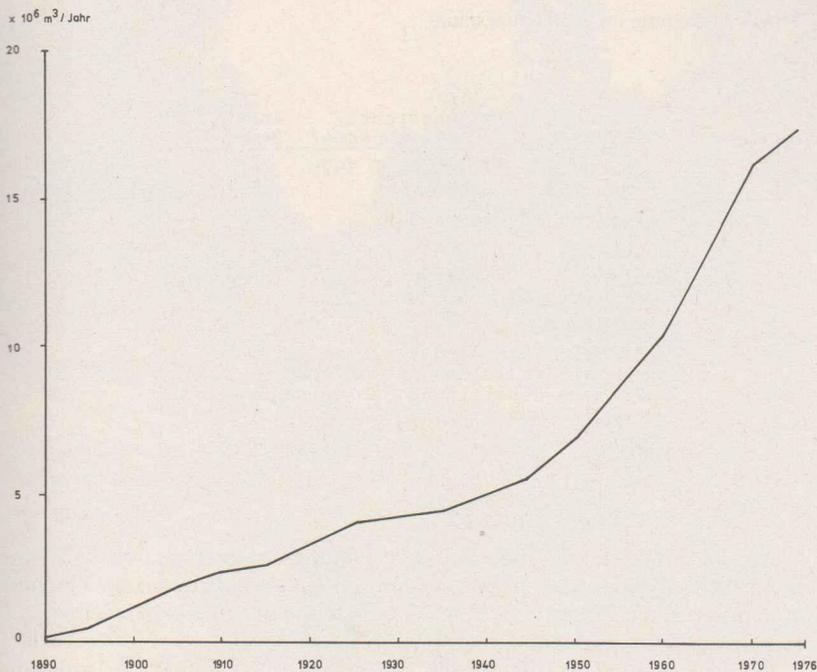


Abbildung 2: Gesamtfördermenge der Stadtwerke Bielefeld.

Tabelle 3: Wassergewinnungsanlagen der Wasserwerke Bielefeld und Oerlinghausen in der Senne.

Wasserwerke der Stadt Bielefeld	Inbetriebnahme	Anzahl der Brunnen
I	1890	16
I a	1971	12
II	1906	22
III	1934	12
IV	1939	20
V Nord	1952	40
V Mitte	1958	20
V Süd	1963	5
VI	1974	2
Wasserwerke der Stadt Oerlinghausen	1968	3

Tabelle 4: Planung im Bearbeitungsraum.

Wasserwerk	voraussichtl. Inbetriebnahme*	Anzahl der Brunnen
Furlbach (Wwk VI)	Baustufe I 1975 unbestimmt	2 24
Krollbach	unbestimmt	16
Mühlen- grund**	1985	22
Tiefbrunnen im Turon	2000	?

\* Bei allen Förderanlagen ist eine vor-  
zeitige Zulassung möglich  
\*\* 50 % Beteiligung der Gelsenwasser AG

Als das mit Abstand größte Wasserversorgungsunternehmen im Arbeitsgebiet beliefern die Stadtwerke Bielefeld mittels eines weitverzweigten Verbundsystems auch die Gemeinden Verl, Schloß Holte-Stukenbrock, Hövelhof, Augustdorf und Oerlinghausen (s. Abb. 4).

Für die Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung kommt der Festlegung von **Wasserschutzgebieten** eine entscheidende Bedeutung zu. Diesen Schutz zu erreichen, wird in dem Maße schwieriger, in dem Besiedlung, Industrialisierung, zivilisatorische Maßnahmen etc. von der Landschaft Besitz ergreifen. Daher gehört den Grundwasservorkommen der entsprechende Schutz, vor allem dann, wenn sie der öffentlichen Wasserversorgung dienen.

Die Abgrenzung der einzelnen Schutzzonen der im Arbeitsgebiet gelegenen Wasserwerke zeigt, daß für das Wasserwerk Bielefeld III (Flugplatz Windelsbleiche) und die Wasserwerke Bielefeld V (Truppenübungsplatz) keine Schutzzonen festgelegt wurden, was auch in der Zukunft nicht praktikabel erscheint. Natürlich ist besonders auf einem Truppenübungsplatz die Gefahr der Grundwasserverschmutzung permanent gegeben. Wie die Praxis belegt, ist mit für die Wasserwirtschaft akzeptablen Konzessionen seitens der militärischen Dienststellen nicht zu rechnen, denn das wiederum würde einen optimalen militärischen Übungsablauf gefährden, wenn nicht gar in Frage stellen.

Eine starke Gefährdung des Grundwassers liegt trotz ausgewiesener Schutzzonen auch beim Wasserwerk Bielefeld II vor, dessen gesamtes Einzugsgebiet von der Bundesautobahn A 2 in seiner Nordost-Südwest-Erstreckung durchquert wird und Standort der Mülldeponie Senne I ist (Schutzzone III B). Während baulich wirksame Schutzmaßnahmen entlang der Dammschüttung der Bundesautobahn Dortmund-Hannover noch nicht getroffen wurden, besitzt



Abbildung 3: Brunnenreihe (umzäunt) des Wasserwerkes IV a in Waldschneise zwischen Sennestadt und Stukenbrock. Aufn.: E. Th. Seraphim

die Mülldeponie einen Folienschutz mit Drainagesystem. Trotz der bereits getroffenen Maßnahmen bleibt ein in der Dimension nicht zu erfassender Risikofaktor bestehen.

Von großer Bedeutung ist auch die Berechnung des künftigen Wasserbedarfs. Eine **Prognose des Wasserbedarfs** von Haushalten, der Landwirtschaft und der Industrie wurde vom BATELLE-INSTITUT (1978) für das Bundesland Nordrhein-Westfalen auf Kreisebene durchgeführt. Die in Tab. 5 aufgeführten Daten beziehen sich auf den Gebietsstand von 1975. Die erstellte Prognose kann allerdings nicht ohne weiteres auf einzelne Regionen oder Versorgungsgebiete übertragen werden, denn es müßten hierbei besondere Regionalisierungsansätze verwendet werden. Daher gibt Tab. 5 speziell für den Bearbeitungsraum nur einen Anhalt, der mit Ungenauigkeiten behaftet ist, was leicht zu falschen Schlüssen und Reaktionen führen kann.

Das theoretisch gewinnbare Grundwasserdargebot ist die jährliche Menge an Grundwasser, die sich aufgrund der in Kapitel 3 dargelegten Ermittlungsmethoden ergeben hat. Für die Festlegung des **nutzbaren Grundwasserdargebots** gibt es noch keine allgemein gültigen Ermittlungsgrundsätze, jedoch wird unter

Kreis	1975				1980			
	Haushalte		LAW	Industrie BW o.Z.	Haushalte		LAW	Industrie BW o.Z.
	MEP	OEP			MEP	OEP		
Bielefeld	14710	14653	160	5495	15348	15925	280	5611
Gütersloh	10244	9705	1700	10248	10720	10194	2000	11860
Lippe	15846	15325	150	6895	16753	16507	400	9261
Paderborn	9964	9200	422	5592	10903	9831	422	8349

Kreis	1990					2000				
	Haushalte		LAW	Industrie		Haushalte		LAW	Industrie	
	MEP	OEP		BW o.Z.	BW m.Z.	MEP	OEP		BW o.Z.	BW m.Z.
Bielefeld	16561	18857	280	7223	7223	17277	21112	280	7794	7794
Gütersloh	11723	11233	2000	14213	23013	13022	12476	2000	16454	25254
Lippe	18843	19010	400	8993	8993	20180	21196	400	9709	9709
Paderborn	12975	11136	422	7834	9634	14994	12248	422	9234	11034

Tabelle 5: Prognose des Wasserbedarfs (in 1 000 m<sup>3</sup>) bis zum Jahre 2000 (n. BATELLE-INSTITUT 1978). Es bedeuten:

MEP: Wasserbedarf der privaten Haushalte mit Einwohnerprognose

OEP: Wasserbedarf der privaten Haushalte ohne Einwohnerprognose

LAW: Bedarf an Beregnungswasser

BW o. Z.: Prognosewerte für Betriebswasserbedarf der Industrie ohne Zuschlag für die mögliche Belegung der im LEP VI ausgewiesenen Standorte für Großvorhaben

BW m. Z.: Prognosewerte für Betriebswasserbedarf der Industrie mit Zuschlag.



Abbildung 4: Gewinnungs- und Verteilungsanlagen der Wasserversorgung der Stadtwerke Bielefeld (nach Unterlagen der Stadtwerke Bielefeld).

dem nutzbaren Anteil des Grundwasserdargebots u. a. die Wasserförderung verstanden, die in erschließungswürdigen Wasservorkommen auch in Trockenzeiten durchgehend zur Verfügung steht (LIMPRICH 1970).

Bei der Bestimmung der nutzbaren Dauerspense eines bewirtschafteten Aquifers genügt es nicht, nur die geohydrologischen, wasserwirtschaftlichen und ökonomischen Kenndaten zu berücksichtigen, sondern es ist zukünftig auch der zeitliche Faktor in Rechnung zu stellen (LANGGUTH & VOIGT 1977). Eine genaue Erfassung und Festlegung des nutzbaren Grundwasserdargebotes war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, da zu viele nicht exakt faßbare Parameter in die Berechnung mit eingegangen wären. Die in Tab. 6 ausgeworfenen Daten beruhen daher nur auf fundierten Schätzungen, wobei als Hauptkriterium der Vergleich und die Übertragbarkeit von schon voll wasser-

Tabelle 6: Grundwasserneubildung, nutzbares Grundwasserdargebot und Wasserbedarf im Bearbeitungsraum; Angaben in Mio m<sup>3</sup>/Jahr.

Grundwasserneubildung nach langjähr. Mittel	Grundwasserneubildung nach Minimum-Kurzreihe	Verminderung der Grundwasserneubildung durch Minimum-Kurzreihe in %	Grundwasserentnahmemengen laut Wasserrecht
129,740	106,034	18	28,186
Nutzbares Grundwasserdargebot n. langjähr. Mittel	Nutzbares Grundwasserdargebot n. Minimum-Kurzreihe	Differenz zwi. nutzb. Grundwasserdargebot (n. langj. Mi.) u. Entnahmemeng. lt. Wasserrecht	Differenz zwi. nutzb. Grundwasserdargebot n. Min.-Kurzr.) u. Entnahmemeng. lt. Wasserrecht
64,870	53,017	36,684	24,831

wirtschaftlich genutzten Regionen auf andere Gebiete herangezogen wurde. Daraus resultiert ein nutzbares Grundwasserdargebot von etwa 50 % des theoretischen Dargebotes.

Bei der Vergabe von Wasserrechten geht man meistens davon aus, den Grundwasserträger nur im Rahmen seines mittleren Wasserumsatzes zu belasten. Da sich durch menschliche Einflüsse die Verhältnisse ständig ändern, hält man dann aber oft nur noch die Fiktion einer sachlich gerechtfertigten Entnahmepaxis aufrecht (LANGGUTH & VOIGT 1977).

Den Bearbeitungsraum betreffend ist eine Ermittlung des gesamten Wasserbedarfs nur unter Akzeptierung einer relativ hohen Fehlertoleranz möglich, da sich das Datenmaterial nur auf die verliehenen bzw. beantragten Wasserrechte beschränkt, die eine Laufzeit von jeweils etwa 20 Jahren aufweisen. Abgesehen von den Wasserwerken sind die gegenwärtigen Entnahmemengen größtenteils unbekannt.

Weitaus problematischer gestaltete sich eine sinnvolle Zusammenfassung der den Abfluß der Vorfluter direkt beeinflussenden Ableitungen, da diese

größtenteils nicht quantifiziert vergeben wurden. Der Teil des Grundwasserdarbotes, der zur Sicherung von Mindestabflüssen in den oberirdischen Gewässern vom Grundwasser als Reserve abgezogen werden müßte, konnte daher wegen obiger Mängel nicht durch Zahlen erfaßt werden.

Die Gegenüberstellung von Wasserdargebot (WD) und Wasserbedarf (WB) ist Aufgabe der Wasserbilanz. Eine Wasserbilanz kann folgende Ergebnisse erbringen:

$WD - WB > 0$	Wasserbilanz aktiv
$WD - WB = 0$	Wasserbilanz ausgeglichen
$WD - WB < 0$	Wasserbilanz passiv

Sowohl die Gegenüberstellung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung als auch der Minimum-Kurzreihen mit den Wasserrechten ergeben eine aktive Bilanz, wobei aber vereinzelte kleine Einzugsgebiete eine passive Bilanz aufzeigen (z. B. Bärenbachgebiet) können.

## 5. Grundwasserbeschaffenheit

Kein in der Natur auftretendes Wasser ist frei von gelösten Stoffen. Ihre räumlich und zeitlich wechselnde Verteilung im Wasser ist von verschiedenen hydrologischen Faktoren wie Niederschlag, Zu- und Abfluß, physikalischen Faktoren wie Temperatur und Wasserbewegung, chemischen Faktoren wie Lösungsvorgängen, Bildungs- und Fällungsreaktionen sowie Komplexbildungen und biologischen Faktoren abhängig. Aus diesen Gründen ist es notwendig, die durchgeführten Untersuchungen darauf zu überprüfen, wie sich die Konzentrationen an gelösten Stoffen geändert haben und welche Tendenzen bei den einzelnen Bestandteilen zu erkennen sind. Hierbei ist besonders die Frage zu klären, ob Grenzwerte erreicht werden, die eine Beeinträchtigung der Wasserqualität hervorrufen. An Wasser, welche als Trinkwasser verwendet werden sollen, müssen in physikalischer, chemischer und biologischer Hinsicht hohe Anforderungen gestellt werden. Da enge Beziehungen zwischen der Zusammensetzung des Rohwassers und der Qualität des Trinkwassers bestehen, sollten primär die möglichen Einflüsse auf das Rohwasser Gegenstand jeder Betrachtung sein. Die durchgeführten Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß im wesentlichen anthropogene Einflüsse die Grundwasserqualität bestimmen. Wenn nicht entscheidende Veränderungen eintreten, ist in absehbarer Zukunft nicht zu erwarten, daß seitens der hygienischen Überwachungsinstiute Bedenken erhoben werden. Besondere Beachtung verdient lediglich das Wasserwerk Bielefeld II, denn Indizien für die Beeinflussung durch eine Mülldeponie bzw. die Autobahn A 2 sind gegeben. Die sich hier zwangsläufig stellenden Fragen wie Planung, optimaler Standort und mögliche Auswirkungen von Mülldeponien im Anstrom (Schutzzone III B) von Wassergewinnungsanlagen sollten an dieser Stelle nicht diskutiert werden. Es darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß gute

Standortmöglichkeiten für Deponien im Raume NE der Stadt Bielefeld vorhanden sind.

Die Befunde der bakteriologischen Untersuchungen sind in ihrer Gesamtheit als zufriedenstellend zu bezeichnen.

## 6. Abwasserverwertung in der Senne

Die Abwasser- und Abwasserschlammabeseitigung ist eine Schwerpunktaufgabe der heutigen Siedlungswasserwirtschaft. Siedlungsabwässer und ihre Inhaltsstoffe sind somit schadlos aus unseren Siedlungsräumen zu entfernen und, wenn möglich, nutzbringend zu verwerten.

Siedlungsabfälle sollten auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Flächen nur aufgebracht werden, wo dieses ohne Risiko realisierbar ist im Sinne eines aus ökologischen und ökonomischen Gründen anzustrebenden Recyclings.

Unter dem Zwang einer schadlosen Abwasserabeseitigung unserer Siedlungsgebiete bieten sich der Wasserwirtschaft für die endgültige Unterbringung des Abwassers letztlich nur zwei Medien an, nämlich die fließende Welle unserer Oberflächengewässer und der Boden.

### 6.1. Abwasserrückführung der Stadt Bielefeld

Die im Stromgebiet der Weser liegende Stadt Bielefeld bezieht das benötigte Trinkwasser zum überwiegenden Teil aus der Senne, die sowohl Teile des Einzugsgebietes der Ems als auch der Lippe umfaßt. Ihrem stets zunehmenden Bedarf entsprechend stieg die Gesamtentnahme aus der Senne von etwa 1,3 Mio m<sup>3</sup> im Jahr 1900 auf mehr als 18 Mio m<sup>3</sup> im Jahr 1977 an. Diese recht erhebliche Wassermenge von etwa 49 000 m<sup>3</sup>/Tag entnimmt die Stadt Bielefeld primär dem Einzugsgebiet der Ems.

Bis zum Jahr 1953 wurde die aus der Senne geförderte Wassermenge von über 8,0 Mio m<sup>3</sup>/Jahr nach Gebrauch als Abwasser über die Kläranlage in Heepen dem Einzugsgebiet der Weser zugeführt. Auf diese Weise wurden dem Wasserhaushalt der Ems Jahr für Jahr erhebliche Wassermengen entzogen und es entstanden ausgedehnte Schäden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Folgen der Grundwasserabsenkung bestanden für die Landwirtschaft neben einem erheblichen Ernteausfall besonders in einschneidenden Betriebsumstellungen.

Zur Schaffung eines wasserwirtschaftlichen Ausgleiches, besonders im Interesse der Landwirtschaft, kamen im Jahre 1951 die sogenannten »Düsseldorfer Vereinbarungen« und im gleichen Jahr das Vertragsangebot der Stadt Bielefeld an einen zu gründenden Wasser- und Bodenverband zustande. Diese Vereinbarungen wurden in dem Bestreben abgeschlossen, den jahrzehntelangen Streit

um das Wasser der Senne zu beenden und einen Interessenausgleich herbeizuführen.

Während die Abwasserrückführung schon im Jahre 1953 beginnen konnte, wurde der Abwasserverwertungsverband »Senne« erst im Jahr 1963 in Stukenbrock gegründet. Die wesentlichen vertraglichen Vereinbarungen beziehen sich auf den Schadensausgleich im Wirkungsbereich der Wasserwerke IV und V und sollen durch Abwasserrückführung und die Abwasserverteilung primär folgendes bezwecken:

1. einen wasserwirtschaftlichen Ausgleich durch Wiederherstellung des beeinträchtigten Abflußvermögens in den betreffenden Wasserläufen.
2. Einen landeskulturellen Ausgleich für landwirtschaftliche Flächenschäden durch Landbehandlung und Verwertung von Abwasser in Form von Verrieselung bzw. Verregnung.

Im Bewilligungsantrag von 1967 war u.a. vorgesehen, das Abwasser in die engeren Einzugsbereiche der Vorfluter Ölbach und Landerbach, Furlbach und Ems zurückzuführen.

Die ursprünglichen Planungen sahen einen Bedarf von 285 ha Riesel- bzw. Beregnungsflächen vor. Im Endzustand sollten dann die Rieselflächen zum wasserwirtschaftlichen Ausgleich mit jährlich etwa 3000 mm beschickt werden, jedoch erwiesen sich durch die geringe wasserhaltende Kraft des Sennebodens die seit 1953 verrieselten Mengen als zu hoch. In diesem Zusammenhang wurden durch die Technische Hochschule Braunschweig Versuche und Maßnahmen für bodenstrukturelle Verbesserungen mit Erfolg durchgeführt (SAXEN 1963).

Für die Beregnungsflächen zum landeskulturellen Ausgleich waren Regengaben von etwa 300 mm/Jahr während der Vegetationsperiode vorgesehen. Zur Zeit beträgt die Verregnungs- bzw. Verrieselungsfläche weniger als 90 ha und beschränkt sich nur auf die Einzugsbereiche von Öl- und Furlbach. Die ursprünglich auch im Furlbachgebiet durchgeführte Verrieselung wurde ebenso wie die zeitweise Aufbringung von ausgefaultem Schlamm im Jahre 1973 eingestellt, da an einer Forellenzuchtanlage durch diese Beeinflussungen erhebliche Schäden entstanden.

## 6.2. Beschaffenheit des Abwassers und Faulschlammms

Für das in der Senne zu verregnende bzw. zu verrieselnde Abwasser wurden lt. Bewilligung vom 30.9.1974 bzw. Erlaubnis vom 20.3.1975 Grenzwerte festgesetzt, wie sie auch in den Normalanforderungen für Abwasserreinigungsverfahren festgelegt sind. Es werden somit für häusliches Abwasser bei Trockenwetter und die meisten nicht giftigen, organisch verschmutzten Abwässer aus Gewerbetrieben folgende Werte verlangt:

Reinigungsverfahren	absetzbare Stoffe mg/l	KMnO <sub>4</sub> mg/l	BSB <sub>5</sub> mg/l
Mechanische Reinigung	0,3	—	—
Biologische Teilreinigung	0,3	150	80
Biologische Vollreinigung	0,3	100	25

(Ministerialblatt f. das Land NW, Ausgabe B, 19. Jahrg., 1966, Nr. 187)

Aus einem Vergleich der festgesetzten Grenzwerte mit einer etwa 10jährigen Analysenreihe des zu verregnenden bzw. zu verrieselnden Abwassers resultiert, daß der Wirkungsgrad der Kläranlage Bielefeld-Heepen sich kontinuierlich verschlechtert hat und man den Effekt des Reinigungsverfahrens nur noch als biologische Teilreinigung bezeichnen kann.

Die Restgehalte von Detergentien > 2 mg/l sind ebenfalls als relativ hoch zu bezeichnen und unterstreichen damit auch indirekt, daß das Abwasser weitgehend nicht mehr den Qualitätsanforderungen des Bewilligungsbescheides bzw. der -erlaubnis entspricht.

Für den Verrieselungs- bzw. Verregnungsbetrieb hatte dies weder Reduzierung der Abwassermengen noch Einstellung des Betriebs zur Folge, sondern man änderte den Erlaubnisbescheid vom 8.10.1975, indem man die Grenzwerte für BSB<sub>5</sub> von 25 mg/l auf 80 mg/l und für KMnO<sub>4</sub> von 100 mg/l auf 150 mg/l erhöhte, was dann nur noch einer biologischen Teilreinigung entspräche. Diese Anhebung der Grenzwerte gilt bis zur Fertigstellung und Inbetriebnahme der Kläranlage Bielefeld-Brake in der Hoffnung, daß dann der Reinigungsgrad wieder akzeptablere Werte (biologische Vollreinigung) erreicht.

Wie allgemein bekannt, enthalten kommunale und gewerbliche bzw. industrielle Abwässer Schwermetalle, die aufgrund der Eliminierung bei der mechanisch-biologischen oder auch chemischen Reinigung im Klärschlamm angereichert werden. Diese Schwermetalle, besonders Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei und Zink stellen oberhalb bestimmter Konzentrationen mögliche Gefahren für die Umwelt dar, wobei zunächst die Anreicherungstendenz in der Nahrungskette maßgebend ist.

Im Zeitraum 1959 - 1973 wurde neben der Abwasserverregnung bzw. Abwasserverrieselung auch Faulschlamm zur Bodenverbesserung in die Senne gepumpt, dessen Analysenergebnisse fast durchweg einen uneinheitlichen Verlauf zeigen, der keine gesicherten Aussagen zuläßt.

### 6.3. Abwasserwertung, Auswirkungen und Interpretation

Zur Erzielung eines wasserwirtschaftlichen und landeskulturellen Ausgleiches werden im Einzugsbereich des Öl- und Furlbaches Abwässer verregnet bzw. verrieselt. Während es im Einzugsbereich des Ölbaches zu keinen nennenswerten Schäden kam, waren im Furlbachgebiet seit dem Jahr 1965 Schadensforderun-

gen durch Forellenzüchter erhoben worden. Seit dem Jahr 1970 wird das Furlbachwasser an verschiedenen Stellen untersucht. Zusammenfassend kann darüber gesagt werden, daß sich die erwartete Verbesserung der Furlbachwasserqualität nach dem Einstellen der Rieseltätigkeit nur langsam vollzieht. Möglicherweise ist der Endzustand bereits erreicht, was aber erst durch weitere Untersuchungen geklärt werden muß, da Analysen aus der Zeit vor der Berieselung bzw. Abwasserschlammverwertung nicht vorliegen. Belegt durch mehrere Gutachten (MANN 1967, 1968) besteht kein Zweifel an der Tatsache, daß durch Abwasserbehandlung eine Belastung des Vorfluters eintrat, welche die Ursache von mehreren Forellensterben war. Die alleinige Verantwortung darf hierbei keinem möglichen Beeinflussungsfaktor allein zugeschrieben werden, sondern entscheidend waren im Furlbachgebiet Superponierung und Wechselwirkungen von verschiedenen Parametern.

Wesentliche Voraussetzungen einer erfolgreichen Abwasserbehandlung, wie sie in der Senne durchgeführt werden sollte, sind tiefgründige Sandböden und möglichst lange Filterstrecken mit den entsprechenden Verweilzeiten des zu reinigenden Abwassers. Die grundwasserhydraulische Situation im Ölbachgebiet wird wahrscheinlich bestimmt durch eine ausstreichende Hochscholle des Turons, auf der sich ein Teil der Rieselflächen befindet. In diesem Gebiet könnte daher das Abwasser nach kurzer Filterstrecke im wesentlichen von den klüftigen Gesteinen des Turons aufgenommen werden, um dann seinen weiteren Fließweg als mehr oder minder verunreinigtes Karstwasser zu nehmen.

Im Furlbachgebiet ist die Situation ebenso ungünstig, nur sind dort die Einwirkungen anderer Art, da die Grundmoräne eine relativ geringmächtige Sandbedeckung aufweist und zum Vorfluter hin einfällt und damit auch die Fließrichtung des teilgereinigten Abwassers bestimmt.

Dieses Gesamtbild über die Fließverhältnisse wird untermauert durch den Vergleich von Grundwasserhöhenplänen. Die Höhengleichenpläne des Ölbachgebietes zeigen im Gegensatz zu denen des Furlbachgebietes ein konstanteres Gefälle, was aus der Schluckfähigkeit des Turons resultieren könnte. Das sehr unterschiedliche Grundwassergefälle im Furlbachgebiet ist dagegen auf den Stau effekt der Grundmoräne zurückzuführen. Hohe Abwassermengen sind daher in der Lage, ein Gefälle bis zu 1,4 % zu bewirken, was eine Fließzeitverminderung und dadurch eine schlechtere Nachreinigungswirkung zur Folge hat. Dieser Effekt wird noch verstärkt durch Unterbrechungen der Grundmoräne an mehreren Stellen. Diese Unterbrechungen können eine Art Drainagewirkung darstellen, was dann einer weiteren Erhöhung der Fließgeschwindigkeit gleichkame.

Abb. 5 zeigt die aufgebrachten Jahresmengen an Abwasser ( $m^3$ ), denen teilweise Höchstwerte von 3000 - 4000 mm/Jahr entsprechen und deren Einfluß auf den Grundwasserstand auch deutlich aus mehreren Ganglinien von Beobachtungsbrunnen hervorgeht. Die anfangs sehr hohen Abwasserlasten ließen die schon allein durch obige Gegebenheiten reduzierten Filtereigenschaften des Bodens auf ein Minimum absinken, so daß es nur noch eine Frage der Zeit war,

$\times 10^6 \text{ m}^3$

Abbildung 5: Schlammverwertung und Abwasserrückführung in die Entnahmegebiete der Wasserwerke IV, V Nord und VI.

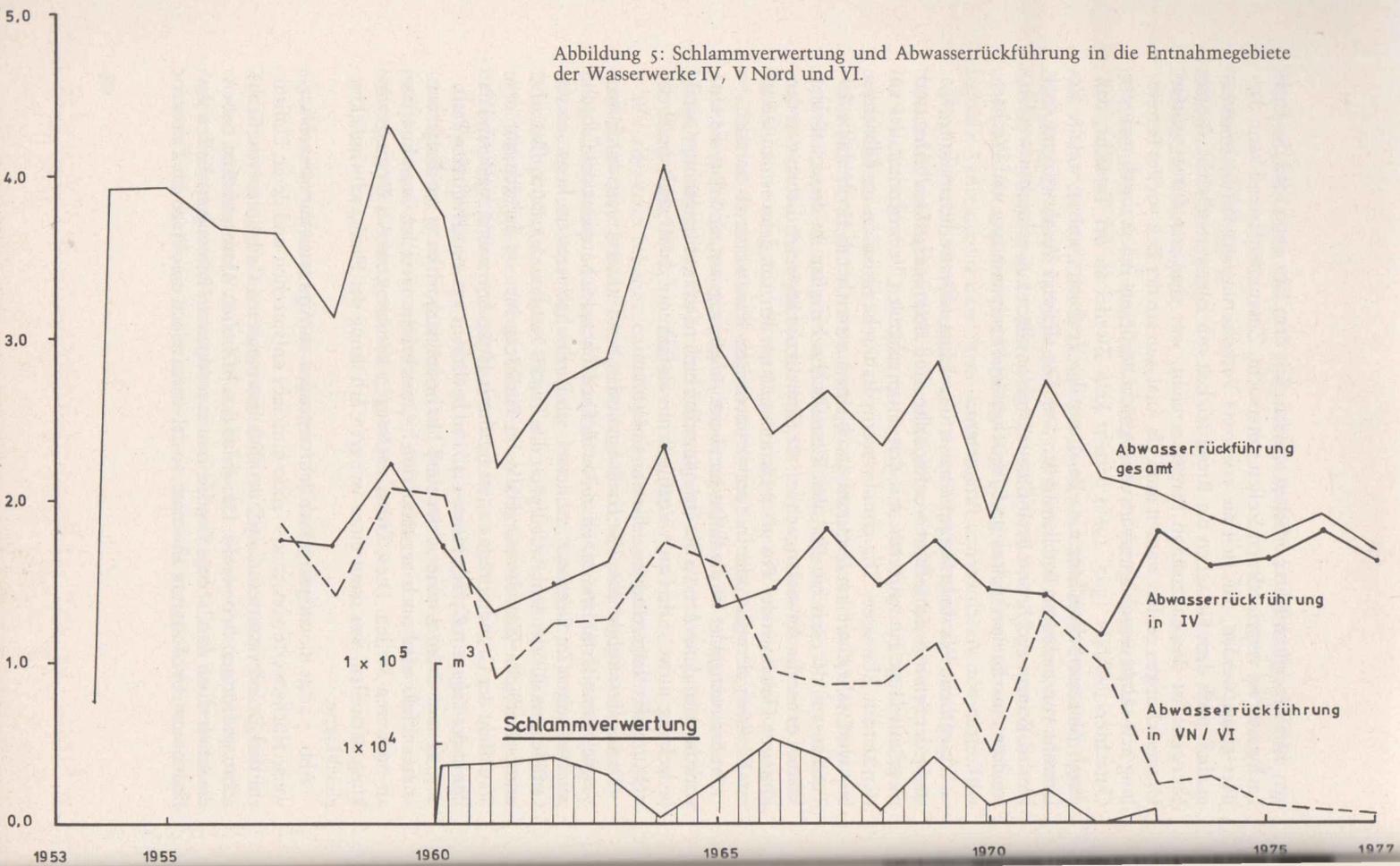




Abbildung 6: Verrieselungsanlagen für Rückführwasser der Stadt Bielefeld im Bokelfenn nordöstlich Stukenbrock. Dauergrünland-Wirtschaft auf den von Natur aus trockenen Sandböden. Aufn.: E. Th. Seraphim

daß bei Trockenwetterabflußverhältnissen des Furlbaches der Verdünnungsfaktor ebenfalls einen Minimalwert erlangte, was sich seinerseits negativ auf die Forellenzuchtbetriebe auswirken mußte.

Aufgrund der Schäden wurde die Schlammverwertung eingestellt und im Furlbachgebiet vom Rieselbetrieb auf Verregnung übergegangen mit einer jährlichen bewilligten Menge von 320 mm. Somit ist ein wasserwirtschaftlicher Ausgleich in keiner Weise mehr gegeben.

## 7. Möglichkeiten eines landeskulturellen und wasserwirtschaftlichen Ausgleichs

Ein **landeskultureller Ausgleich** für landwirtschaftliche Flächenschäden hat in seiner Bedeutung an Relevanz verloren, denn die Landwirtschaft in der Senne ist in einem Stadium, das, optimistisch beurteilt, zur Zeit ein Nullwachstum aufweist. Folgende miteinander zu kombinierende Probleme bedürfen aber primär einer Lösung:

1. Erhöhung der Wasserspeicherkapazität und Sorptionskapazität des Bodens durch Anreicherung mit Kolloidsubstanz.
2. Einschränkung der Bewässerungsmengen (n. Bewilligung) oder eine wesentliche Verbesserung des zu verregnenden bzw. zu verrieselnden Abwassers.

Unter den gegebenen Voraussetzungen und dem derzeitigen Reinigungsgrad der Kläranlage Bielefeld (Stand 1978) kann ein **wasserwirtschaftlicher Ausgleich**

aus Gründen, die in den vorangegangenen Abschnitten bereits dargelegt wurden, nicht gewährleistet werden.

Eine akzeptable Lösung kann in der Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlage Bielefeld-Heepen gefunden werden. Im Jahre 1979 wurde die neue Kläranlage Bielefeld-Brake (Erweiterung) in Betrieb gesetzt.

In der Bundesrepublik Deutschland wird nach 1985 der Wasserverbrauch den mittleren Niedrigwasserabfluß von etwa 140 mm pro Jahr überschritten haben. Die Konsequenz daraus ist, daß die Abflüsse durch die wiederholte **Einschaltung von Nebenkreisläufen** mehrfach genutzt werden müssen (BALKE 1979). Eine bereits heute praktizierte Möglichkeit dafür bietet die künstliche Grundwasseranreicherung (Abb. 7).



Abbildung 7: Grundwasseranreicherung durch Sickerteiche in den quartären Sanden der Senne am Diebesweg, Wasserwerke Paderborn. Den Teichen werden z. Zt. täglich etwa 8 000 m<sup>3</sup> Wasser aus Brunnen im Tiefen Karst - früher aus der Lippe - zugeleitet (Zulauf vorne rechts im Bilde), während die tägliche Fördermenge der in der Nachbarschaft der Sickerteiche stehenden Brunnen des WW Paderborn I etwa 10 000 m<sup>3</sup> beträgt. Durch die Filterwirkung der Sande und die Mischung mit dem dort befindlichen Grundwasser wird eine weitere Verbesserung der Qualität des geförderten Wassers erreicht. Aufn.: E. Th. Serphim

Oberirdische Speichermöglichkeiten, die für das Arbeitsgebiet eine wasserwirtschaftliche Bedeutung besitzen könnten, sind an keiner Stelle vorhanden; denn der größte Teil des Gebietes ist nicht nur zu durchlässig, sondern es fehlen auch die entsprechenden Wassermengen. Im Gegensatz dazu sind die geologischen Voraussetzungen zu einer unterirdischen Wasserspeicherung teilweise vorhanden. Besonders günstige Ausgangsbedingungen für die Anlage unterirdischer Speicher bieten im Arbeitsgebiet Flußtäler, die zunächst von glazialen Schmelzwasserabflüssen in den undurchlässigen »Emscher-Mergel« eingeschnitten und anschließend wieder mit pleistozänen Ablagerungen angefüllt wurden. Die technischen Voraussetzungen zur Verwirklichung einer solchen Speicherwirtschaft stellen nicht das eigentliche Problem dar. Die einzige Schwierigkeit in der Realisierung einer Wasserspeicherung im Untergrund liegt in der Beschaffung des Infiltrationswassers. Als Bezugsgebiet können z. B. Hochwässer abgezweigt und eventuell auch zwischengespeichert werden, um danach über den Teutoburger Wald in die entsprechenden Gebiete gepumpt zu werden.

Die Technologien, die zum Einsatz kommen, dürften in ihren Kosten sicherlich höher liegen als die derzeitigen Investitionen. Sie bieten dafür aber nicht nur die Gewähr eines optimalen wasserwirtschaftlichen Ausgleiches, sondern sie sind auch in der Lage, für die fernere Zukunft den Wasserbedarf abzusichern.

Eine Realisierung oder zumindest Teilrealisierung der angeführten Möglichkeiten erscheint zur Zeit leider äußerst zweifelhaft; denn solange man noch erfolgreich Symptome behandeln kann, nimmt man, u. a. mit Rücksicht auf die Kosten, von der Behandlung der Ursachen Abstand.

## 8. Konkurrierende Nutzungen des Bearbeitungsraumes

Der steigende Wasserbedarf hat auch eine steigende Grundwasserentnahme zur Folge. Jeder Eingriff in ein System verursacht jedoch Reaktionen, die unter den verschiedensten Gesichtspunkten negative Auswirkungen haben können. Für eine gesunde Wasserwirtschaft ist daraus zu folgern, die Grundwasserentnahmen so zu beschränken, daß diese negativen Folgen in einem angemessenen Verhältnis zum Nutzen stehen. Es müssen sich somit Restriktionen ergeben, die einer maßlosen Grundwassernutzung entgegenstehen.

Während die Förderung von Grundwasser aus der Senne in expansiver Form betrieben wird, geraten die Anforderungen, die bei einer geordneten Wasserwirtschaft Prämisse sein sollten, in das Hintertreffen. Obwohl der Sicherung der Trinkwasserversorgung Priorität zukommen muß, ist es ebenso notwendig, daß der Kreislauf des Wassers, bezogen auf das Entnahmegebiet, erhalten bleibt.

Beispielsweise wurden im Jahre 1977 dem Ölbachgebiet etwa 2,21 Mio m<sup>3</sup> (Wwk IV, IVa) und dem Furlbachgebiet etwa 3,4 Mio m<sup>3</sup> (Wwk VN, VI) Grundwasser entzogen. Die Rückführung an biologisch teilgereinigtem Abwasser im gleichen Zeitraum betrug für das Ölbachgebiet etwa 73 %, für das Furlbachgebiet etwa 2 %. Von einem wasserwirtschaftlichen Ausgleich kann daher in kei-

ner Weise gesprochen werden. Die Statistik zeigt eher einen regressiven Trend, denn das besonders im Furlbachgebiet verregnete Abwasser in einer Höhe von 320 mm pro Jahr dürfte primär nur dem landeskulturellen Ausgleich dienen, während der Grundwasseranreicherung und damit dem wasserwirtschaftlichen Ausgleich, wenn überhaupt, nur ein Minimum an Bedeutung zukommt.

Theoretisch besteht sogar die Möglichkeit, daß der Furlbach, um nur ein Beispiel zu nennen, im Sennebereich während der Vegetationsperiode teilweise trockenfällt, was aus der Existenz von nicht quantifizierten Flößrechten resultiert. Die daraus entstehenden ökologischen Schäden und deren Folgeerscheinungen können nicht Gegenstand dieser Arbeit sein, aber erste Studien mit negativem Ergebnis konnten auf diesem Sektor bereits durchgeführt werden, da ein Nebenvorfluter des Furlbaches (Bärenbach) durch die Förderung des Wasserwerkes V Nord der Stadtwerke Bielefeld bereits weitgehend trockengelegt ist. Dieser unerwünschte Effekt wird im Oberlauf des Furlbaches ebenfalls eintreten, falls der vollständige Ausbau des Wasserwerkes VI (24 Brunnen parallel dem Vorfluter) realisiert wird, einschließlich einer permanenten Abflußverminderung von mindestens 40 % am Furlbachpegel Hövelriege (außerhalb des Bearbeitungsraumes).

Neben der Förderung von Grundwasser aus den Quartärablagerungen wird seit 1970 auch aus mehreren Tiefbohrungen des Oberkreide-Grundwasserstockwerkes gefördert. Wie schon ausgeführt, stehen beide Stockwerke in hydraulischer Verbindung. Eine exzessive Förderung aus dem zweiten Grundwasserstockwerk ohne exakte Kenntnis der Regenerationsrate wird die hydraulische Verbindung zwischen beiden Stockwerken unterbrechen und somit eine Reduzierung des Grundwasserdangebotes in der Senne herbeiführen. Die gleiche Situation kann natürlich auch bei einer längeren Periode von Trockenjahren eintreten. Beide Ereignisse sind also für sich alleine betrachtet schon in der Lage, die Süßwasserkalotte zu reduzieren, was dann auch eine Verschiebung der Grenzzone zugunsten des Salzwassers bewirken würde.

Während sich land- und forstwirtschaftliche Schäden im allgemeinen monetär quantifizieren lassen, ist die nachteilige Auswirkung einer Grundwasserabsenkung hinsichtlich der Vernichtung von Feuchtbiotopen und des Aussterbens von Pflanzen- und Tierarten, die an ein feuchtes Milieu gebunden sind, nicht quantifizierbar. Bei einem weiteren Ausbau des Wasserwerkes VI der Stadtwerke Bielefeld am Oberlauf des Furlbaches und einer geplanten Fördermenge von ca. 3 Mio m<sup>3</sup>/Jahr ist es nur eine Frage der Zeit, daß in diesem Bereich analoges geschieht wie im Bärenbachtal und im Bereich des Lander- und Dalkebaches. Als Alternativen bieten sich somit nur die Reduzierung der Wasserförderung oder ein wasserwirtschaftlicher Ausgleich an. Dieser jedoch nur in der Form, daß Schäden, wie sie in der Vergangenheit durch mehr oder minder vorgeklärte Abwässer aufgetreten sind, mit Sicherheit ausgeschlossen werden können.

Durch die rege Bautätigkeit in den Ballungsräumen, sei es am Niederrhein, im Münsterländer Kiessandzug etc. kam es zu einem zerrissenen und zusam-

menhanglosen Abbau von Sanden und Kiesen mit all seinen negativen Folgeerscheinungen (z. B. Mülldeponien) aufgrund häufiger mangelhafter Planung sowohl bei Behörden als auch bei Unternehmen. Die große Zahl der Tiefentsandungen (Naßbaggerung) und Flachentsandungen (Trockenbaggerungen) führte teilweise zu nachhaltigen Natur- und Landschaftsschäden.

Auch die Senne blieb davon nicht verschont, und es zeigt sich, daß die einzelnen Rechtsvorschriften und Gesetze auch hier nicht ausreichen, die verursachten Landschaftsschäden auf ein vertretbares Maß zu beschränken. Von Ausnahmen abgesehen, lassen sich noch keine befriedigenden Anzeichen für die Wiedereinbindung (Rekultivierung) der ausgesandeten Flächen in die Landschaft feststellen. Es bleibt nur zu hoffen, daß das am 21.11.1972 beschlossene Abgrabungsgesetz die gestellten Erwartungen erfüllt. Die Pflege und fachgerechte Gestaltung unserer Wirtschafts- und Erholungslandschaften, der Schutz natürlicher oder naturnaher Lebensräume und Lebensgemeinschaften sind vorrangige Aufgaben der Gegenwart geworden. Die Landschaften und die Natur sind so komplizierte Wirkungsgefüge, daß falsche Eingriffe zu tiefgreifenden, oft irreversiblen Schäden führen können, die dann nicht nur speziell den Landschafts- bzw. den Naturschutz betreffen, sondern auch die Wasserwirtschaft empfindlich berühren können. Bedenken gegen Beeinträchtigungen aller Art sollten daher nie mit Argumenten vermeintlicher Sachzwänge heruntergespielt werden. Der beste Schutz des Trinkwassers ist und bleibt eine gesunde Landschaft.

Die Sicherung wasserwirtschaftlicher Belange, vor allem solcher für die Wasserversorgung, ist in einem so dicht besiedelten und stark industrialisierten Land wie Nordrhein-Westfalen besonders dringlich und bei allen Nutzungsansprüchen nachhaltig zu berücksichtigen. Hervorzuheben seien an dieser Stelle Interessenkollisionen, die eine Ausweisung von Wasserschutzgebieten unrealisierbar machen. Im allgemeinen kommt es aber nicht allein auf den gesetzlich geregelten Schutz der Wasserschutzgebiete, sondern auf eine generelle Sicherung aller nutzbaren Grundwasservorkommen an. Dazu müssen auch die Kluftgewässer des Teutoburger-Waldes gezählt werden, die in einer noch unbekannt Größenordnung in das Arbeitsgebiet einspeisen.

Auch die Betrachtung von Gebieten mit noch aktiven Wasserbilanzen zeigt, daß eine Wasserbewirtschaftung nicht starr gehandhabt werden darf. Die Nutzung eines Grundwasserleiters unterliegt einer zeitlichen Abhängigkeit, die sich aus der allgemeinen wirtschaftlichen und technischen Entwicklung ableitet. Das Festlegen einer konstanten Förderrate für lange Zeiträume, wie es z.B. in der Bundesrepublik üblich ist, kann daher das ursprüngliche Ziel, einen Grundwasserleiter vor Überbeanspruchung zu schützen, regelrecht in sein Gegenteil umkehren. Obwohl der Bearbeitungsraum eine hohe Grundwasserneubildung aufweist, demgegenüber nur ein Teil genutzt wird, darf das nicht darüber hinwegtäuschen, daß die wasserwirtschaftlich zu verantwortenden Entnahmen weit darunter liegen und einzelne Flußgebiete spätestens dann eine sichtbare negative Bilanz aufweisen, wenn die Grundwasserstände unter die Vorfluter- sohlen gefallen sind.

Anhang: Entwicklung der Wasserförderung ( $\text{m}^3/\text{J}$ ) in der Senne durch die Wasserwerke Bielefeld.  
Für die Genehmigung, die Fördermengen aufgeschlüsselt zu veröffentlichen, sage ich  
den Stadtwerken Bielefeld herzlichen Dank!  
Der Herausgeber

Wasserwerk	1900	1920	1940	1950	1960	1970	1976	1979
I	1 271946	1 527837	1 712051	1 677314	1 325686	1 800700	1 258126	1 546205
Ia	-	-	-	-	-	-	1 166523	1 388045
II	-	1 789715	1 830001	2 635422	1 912717	2 666120	1 976940	1 869480
III	-	-	425314	391661	385593	440084	337676	285435
IV	-	-	1 178678	2 191771	1 561074	1 666613	1 310028	1 535960
IVa	-	-	-	-	-	-	1 028137	799481
V Nord	-	-	-	-	3 552165	3 155606	3 277357	2 411761
V Mitte	-	-	-	-	1 769624	2 609514	2 850365	1 150889
V Süd	-	-	-	-	-	3 154961	2 821948	2 692310
VI	-	-	-	-	-	-	257594	24721
(Oerlingsn.)	-	-	-	-	-	(260936)	(446106)	

Nachtrag zu Tabelle 4:

Als voraussichtliche Fördermengen werden von den Stadtwerken Bielefeld für das Wasserwerk Mühlengrund (Ölbach) 3,0 Mio  $\text{m}^3/\text{Jahr}$  und für drei Tiefbrunnen im Turon (geplante Inbetriebnahme 1981) 7 Mio  $\text{m}^3/\text{Jahr}$  angegeben. Die Fördermengen für das Wasserwerk VI (Furlbach) und das Wasserwerk am Krollbach werden laut Auskunft der Stadtwerke Bielefeld erst nach Abstimmung mit den zuständigen Dezernaten des Reg. Präs. Detmold festgelegt.

Der Herausgeber

## Literatur

- ARMBRUSTER, J., LAMPRECHT, K., VILLINGER, E. (1977): Grenzen der Grundwasser-nutzung im Rhein-Neckar-Raum (Baden-Württemberg). - Z. dt. Geol. Ges., 174: 263 - 269, 15 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- BALKE, K. D., SCHMIDT, H. (1979): Möglichkeiten der künstlichen Grundwasseranrei-cherung und -speicherung in der Bundesrepublik Deutschland. - Vortrag am Internat. Symposium »Künstliche Grundwasseranreicherung« in Dortmund.
- BATTELLE INSTITUT (1978): Planungsgrundlagen für den langfristigen Ausbau der Trinkwasserversorgung NW, Bd. 1 - 4; Frankfurt.
- BAUER, H. J. (1977): Der Münsterländer Kiessandzug, Geologie, Hydrogeologie, Hydro-chemie und Wasserwirtschaft. - Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, A 10: 135 S., 90 Abb., 25 Tab.; Berlin.
- BAUER, H. J., WYRWICH, D. (1978): Wasserwirtschaftliche Gesamtdarstellung der Senne. - 163 S., 77 Abb., 33 Tab.; Detmold (unveröffentlicht).
- IOSOPAIT, V., LILLICH, W. (1975): Die Ermittlung der Grundwasserneubildung sowie ihre Kartendarstellung im Maßstab 1:200 000 unter Verwendung von geologischen und bodenkundlichen Karten. - Dt. Gewässerkd. Mitt., 19 (5): 132 - 136, 3 Abb.; Koblenz.
- KOCH, M., MICHEL, G. (1972): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte des Kreises Paderborn 1:50 000. - 84 S., 15 Abb., 5 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- KOEHNE, W. (1955): Die Ermittlung der Wasserführung von Grundwasserströmen und ihre Bedeutung für den Betrieb von Wasserwerken - Teil III - Die unterirdischen Ab-flüsse im wichtigen Wassergewinnungsgebiet in der Senne bei Bielefeld u. der Einfluß der Wasserentnahme auf das Grundwasser. - 64 S., 51 Abb., 25 Tab.; Bielefeld (Kirsch-baum).
- KÖTTER, K. (1958): Die Chloridgehalte des oberen Emsgebietes und ihre Beziehung zur Hydrogeologie. - Forschungsber. Wirtsch. u. Verkehrsmin. NW, 491: 180 S., 37 Abb., 17 Tab.; Köln und Opladen.
- LANDESPLANUNGSBEHÖRDE NW (1976): Landesentwicklungsplan III. - Ministerial-blatt für das Land Nordrhein-Westf., 67: 1289-1292; Düsseldorf.
- LANGGUTH, H. R., VOIGT, R. (1972): Das »safe yield«-Konzept als Aspekt des Grund-wasserschutzes. - Z. dt. geol. Ges., 123: 81 - 88; Hannover.
- LIMPRICH, H. (1970): Berechnung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren und verbrauchbaren Grund- und Oberflächenwasserdargebotes für die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung. - Z. dt. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrochemie: 69 - 88, 7 Abb., 4 Tab.; Hannover.
- MANN, H. (1967): Gutachten im Rechtsstreit Furlkröger, Hövelhof, gegen Abwasserver-band Senne. - Az. 3095/67: 29 S.; Hamburg (unveröffentlicht).
- (1968): Ergänzungsgutachten im Rechtsstreit Furlkröger, Hövelhof, gegen Abwasserver-band Senne. - Az. 3095/67: 23 S.; Hamburg (unveröffentlicht).
- MODEL, J. (1978): Minimum-Kurzreihen als Grundlage für die Bestimmung der nutzba-ren Grundwassermenge von Wasserwerken. - bbr, 29 (7): 237-240, 3 Abb., 3 Tab.; Köln.
- PENMAN, H. L. (1948): Natural evaporation from open water bare soil and grass. - Proc. Royal Soc., A 193: 120 - 145; London.
- SAXEN, A. (1963): Untersuchungen über die landwirtschaftliche Verwertung von Abwas-serschlamm. - Mitt. a. d. Leichtweiß- Inst. f. Wasserbau u. Grundbau der TH-Braun-schweig: 105 S.; Braunschweig.
- SERAPHIM, E. T. (1973): Drumlins des Drenthe-Stadiums am Nordostrand der Westfäli-schen Bucht. - Osnabrücker naturwiss. Mitt., 2: 41 - 87, 10 Abb., 2 Tab.; Osnabrück.
- (1979): Der sog. Senne-Sander, eine Kame-Terrasse. Drenthestadiale Grundmoräne und post-moränale Schmelzwasser-Sedimente der Oberen Senne. - Ber. Nat. Ver. Bielefeld u. Umgeg., 24: 319 - 344, 8 Abb.; Bielefeld.

Anschrift der Verfasser:

Dr. H. Joachim Bauer, Deichstr. 36, D 4040 Neuß  
Dietmar Wyrwich, Fliederweg 29, D 4440 Rheine

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side.

1111  
1111