
BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Reihe A/Band 10

Hans-Joachim Bauer

Der Münsterländer Kiessandzug
Geologie, Hydrologie, Hydrochemie und Wasserwirtschaft



Berlin 1979

Verlag von Dietrich Reimer in Berlin

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Reihe A: Geologie und Paläontologie · Reihe B: Geophysik · Reihe C: Kartographie

D 83

Herausgegeben von geowissenschaftlichen Instituten
der Freien und der Technischen Universität Berlin
und der Technischen Fachhochschule Berlin

Schriftleitung:
Dr. G. Pöhlmann (TFH), Dr. J. Pohlmann (FU)
Dr. H. Seyfried (TU)

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich

© 1979 by DIETRICH REIMER VERLAG IN BERLIN

Berliner geowiss. Abh.	(A)	10	136 S.	90 Abb., 25 Tab.	Berlin 1979
------------------------	-----	----	--------	------------------	-------------

Hans-Joachim Bauer

Der Münsterländer Kiessandzug
Geologie, Hydrologie, Hydrochemie und Wasserwirtschaft



1979

Verlag von Dietrich Reimer in Berlin

DER MÜNSTERLÄNDER KIESSANDZUG

Geologie, Hydrologie, Hydrochemie, Wasserwirtschaft⁺

von

H.-Joachim Bauer⁺⁺

ZUSAMMENFASSUNG

Der Münsterländer Kiessandzug ist eine Anhäufung von fluvioglazialen Sanden und Kiesen, die im ausgehenden Drenthe-Stadium abgelagert wurden. Er füllt eine in die Kreide eingetiefte Rinne aus und tritt stellenweise auch morphologisch als Höhenzug in Erscheinung. Der Kiessandzug gehört zu den wichtigsten Grundwasserträgern Nordrhein-Westfalens. Aus diesem Grunde wurde er als besonders schutzwürdig in den Landesentwicklungsplan III aufgenommen.

Im ersten Teil der Arbeit wird der geologische, hydrogeologische, bodenkundliche und klimatologische Kenntnisstand über die naturräumlichen Einheiten des Münsterländer Kiessandzugs dargestellt.

Die photogeologische Auswertung eines Satellitenbildes der Münsterländer Bucht liefert Informationen über die Tektonik des paläozoischen Grundgebirges und ihren Durchpausungsstrukturen im Deckgebirge, die das Bild des Gewässernetzes maßgeblich beeinflussen und den Verlauf der Münsterländer Kiessandzug-Rinne mit bestimmen.

Die Grundwasserneubildung im Münsterländer Kiessandzug wird durch die Auswertung einer zehnjährigen Reihe von Lysimetermessungen durch Regressionsanalyse ermittelt. An neun weitgehend unbeeinflussten Meßbrunnen des Landesgrundwasserdienstes Nordrhein-Westfalens wird gezeigt, daß im Vergleich zum längjährigen Mittel in den letzten Jahren (1972-1976) ein Teil der Wasserwerke aus den Rücklagen fördert.

Der Gesamtwasserverbrauch zeigt in der Relation zur Bevölkerungsentwicklung einen überproportionalen Anstieg. Mit den tatsächlichen Fördermengen sind die Wasserwerke an der Grenze der vertretbaren Entnahmemenge (ohne Infiltration) angelangt. Die Wasserbilanz der einzelnen Teilgebiete ist für die großen Bezugsräume passiv; sie kann aber durch Infiltration ausgeglichen werden.

Durch die Auswertung langjähriger chemischer Untersuchungen des geförderterten Grundwassers aller Wasserwerke des Kiessandzuges werden die zivilisatorischen Einwirkungen auf die Grundwasserqualität erkennbar. Sehr bedenklich sind die Verhältnisse des Wasserwerkes Sendenhorst; hier mußte wegen einer Tiefentsandung die Förderung zeitweise eingestellt werden. Die Alterung dieses Baggersees und ihre Folgen waren Anlaß für chemische und physikalische Untersuchungen an elf repräsentativen Baggerseen. Ihr limnologischer Zustand ist mesotroph bis eutroph.

Die konkurrierende Nutzung des Münsterländer Kiessandzuges durch Wasserwirtschaft und Industrie (Steine und Erden) machen den Kiessandzug zum Streitobjekt. Die Ausbeutung der Kiese und Sande des Münsterländer Kiessandzuges stellt einen unzumutbaren Eingriff in den Naturhaushalt und die freie Landschaft dar; die Rechtsverordnungen reichen in keinem Falle aus, um diesem Zustand entgegenzuwirken.

⁺ Vom Fachbereich Bergbau und Geowissenschaften der Technischen Universität Berlin zur Verleihung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation (D83).

Eingereicht: 22.11.1977, Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.1977

Vorsitzende: Prof. Dr. Tennyson, Berichter: Prof. Dr. Klitzsch, Prof. Dr. Hertel

⁺⁺ Anschrift des Verfassers: H.-Joachim Bauer, Äußere Bayreuther Str. 160, 85 Nürnberg

ABSTRACT

The "Muensterlaender Kiessandzug" is an accumulation of fluvioglacial sands and gravel deposited towards the end of the Drenthe era. It fills a channal cut into Cretaceous strata and as to its morphology, it partially appears as a chain of hills. This formation belongs to the most important aquifers of Nordrhein-Westfalen. Thus meriting special protection, it has been included in the development plan.

The natural environmental conditions of the "Muensterlaender Kiessandzug" are described according to the geological, hydrogeological and climatological state of knowledge. The photogeological interpretation of the satellite image of the "Muensterlaender Kiessandzug" gives information about the tectonics of the Paleozoic basement complex and its structures which partly show up in the covering sediments and have a decisive influence on the drainage, thus influencing determining the course of the "Muensterlaender Kiessandzug" channel.

The recherche of ground water in the "Muensterlaender Kiessandzug" is determined by the interpretation of lysimeter-measurements over 10 years (regression analysis). Nine rather unprejudiced observation wells of the hydrogeological survey of Nordrhein-Westfalen reveal that some of the water-works have been pumping from reserves during the past years (1972 - 1976) compared to the long time average.

The total consumption of water shows an excessive increase with refernce to the growth in population. With the quantities actually pumped, the water-works have reached the limit of the justifiable natural amount of convey. The water balance of the different districts is passive for the large regions of supply, but it may be compensated by infiltration.

Human influences on the quality of ground water are revealed by the interpretation of chemical analysis carried out for many years on the produced ground water of all the water works of the "Kiessandzug". The conditions of the water-work "Sendenhorst" are very critical; its production had to be interrupted for some time due to a sand-pit. Because of this situation and its consequences caused the author to undertake chemical and physical examinations of 11 representative dredge lakes. Their limnological state ist mesotrophic to eutropic.

The competitive exploitation of the "Muensterlaender Kiessanzug" by the regulation of the water supply as well as by industry make the "Kiessandzug" and object of quarrels. The exploitation of sands and gravel of tne "Muensterlaender Kiessandzug" represents an unbearable interference with the ground water situation and with nature and landscape; present laws are not sufficient whatsoever in improving this situation.

RÉSUMÉ

Le "Münsterländer Kiessandzug" est une chaîne de petites collines composée de grès et de graviers fluvioglaciaux. Cette formation représente le remplissage d'une gouttière de fonte quaternaire (époque "Drenthe"). Elle est une des aquifères plus importantes de la région de "Nordrhein-Westfalen". Le sujets suivants furent soumises a une analyse détaillée:

- l'environnement naturel et humain
- la tectonique, visible dans les photos aériens
- la recharge naturelle de l'eau de fond
- le influences civilisatrices sur la qualité des eaux souterraines.

Les résultats tirés de ces études démontrent que le bilan d'eau est déficitaire et peut être équilibré seulement par infiltration artificielle.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	4
2. GEOLOGIE UND GEOGRAPHIE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	4
2.1. Geographische Übersicht	4
2.2. Geologische Übersicht	4
2.2.1. Stratigraphie und Fazies	6
2.2.2. Photogeologie	10
2.2.3. Hydrogeologie	12
2.2.4. Bodenkunde	13
2.3. Klimatologie	14
2.4. Gewässernetz	16
2.5. Kommunale Gliederung, Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftsstruktur	16
3. WASSERDARGEBOT	17
3.1. Wasserhaushalt	17
3.2. Grundwasserneubildung	19
3.3. Jahresgang des Grundwassers und seine Vorratsschwankungen	20
3.4. Grundwasserhöhengleichen	21
3.5. Durchlässigkeitsbeiwerte	21
4. WASSERVERSORGUNG	22
4.1. Wassergewinnung	22
4.2. Wasserschutzgebiete	22
5. WASSERBEDARF DER BEVÖLKERUNG UND DER INDUSTRIE	23
6. GEGENÜBERSTELLUNG VON WASSERBEDARF UND WASSERDARGEBOT	24
7. WASSERBESCHAFFENHEIT	24
7.1. Grundwasser	24
7.1.1. Wasserwerke der Stadt Münster	25
7.1.2. Dortmund-Ems-Kanal	26
7.1.3. Förderbrunnen der Germania-Brauerei	27
7.1.4. Wasserwerk der Borghorst-Burgsteinfurt GmbH, Ahlinterl	27
7.1.5. Wasserwerke der Städte Rheine und Ochtrup	28
7.1.6. Wasserwerk Sendenhorst	30
7.1.7. Zusammenfassung	30
7.2. Oberirdische Gewässer	30
7.2.1. Eutrophierung und ihre Ursachen	31
7.2.2. Untersuchungen an Baggerseen im Münsterländer Kiessandzug	33
8. KONKURRIERENDE NUTZUNG DES MÜNSTERLÄNDER KIESSANDZUGES	37
8.1. Abgrabungen von Sand und Kies	38
8.2. Wasserwirtschaft	38
8.3. Sonstige Interessen	39
9. VORSCHLÄGE UND MÖGLICHKEITEN FÜR EINE INTENSIVE WASSERWIRTSCHAFTLICHE NUTZUNG IM MÜNSTERLÄNDER KIESSANDZUG	40
10. Schlußwort	41
11. Danksagung	41
12. Schriftenverzeichnis	42
13. Abbildungen	47
14. Tabellen	126

Lebenslauf

1. EINLEITUNG

Eine geordnete Wasserwirtschaft ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Entwicklung in allen Lebensbereichen. Mit dem Anwachsen der Bevölkerung und der zunehmenden Industrialisierung wird es jedoch immer schwieriger, das erforderliche Wasser in ausreichender Menge und Beschaffenheit zur Verfügung zu stellen.

Der Münsterländer Kiessandzug gehört zu den wichtigsten Grundwasservorkommen Nordrhein-Westfalens und wurde aus diesem Grund in den Landesentwicklungsplan III (LEP III) als besonders schutzwürdig aufgenommen. Nach dem Erläuterungsbericht zum LEP III/4.3. vom 8. Juli 1976 (Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, Nr. 67) handelt es sich dabei um ein Gebiet, in dem reichhaltige Grundwasservorkommen vorhanden sind und die im Verhältnis zu ihrer Umgebung und ihrem Versorgungsbereich überregionale Bedeutung haben.

In den Gebieten der Grundwassernutzung ist es wichtig, die Grundwasserreserven gemäß § 33 Landesentwicklungsprogramm so zu schützen, daß sie auch langfristig zur Deckung des Bedarfs im Hinblick auf Güte und Menge herangezogen werden können. Der Münsterländer Kiessandzug ist aber nicht nur ein ausgezeichnetes Grundwasservorkommen; seine Sande und Kiese sind auch ein sehr gesuchtes Material für die Bauindustrie. Sie werden in seiner ganzen Erstreckung in vielen Flach- und Tiefentsandungen abgebaut. Daraus haben sich für die Wasserwirtschaft beträchtliche Schwierigkeiten ergeben, die sich im Laufe der Jahre summiert haben und bei denen sich zum Teil irreversible Veränderungen abzeichnen.

2. GEOLOGIE UND GEOGRAPHIE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

2.1. Geographische Übersicht

Der Münsterländer Kiessandzug ist eine Anhäufung von fluvioglazialen Sanden und Kiesen, die im ausgehenden Drenthe-Stadium abgelagert wurden. Er füllt eine in die Kreide eingetieftete Rinne aus und tritt stellenweise morphologisch als Höhenzug in Erscheinung.

Der Kiessandzug liegt inmitten der Westfälischen Tieflandsbucht, deren Naturräume durch ebene bis flachwellige Geländeformen gekennzeichnet sind. Drei Teilgebiete der Tieflandsbucht, nämlich das Kernmünsterland, das Westmünsterland und das Ostmünsterland haben Anteil am Arbeitsgebiet. Das Ostmünsterland bildet mit dem Westmünsterland einen Bogen pleistozäner Aufschüttungen, der das Kernmünsterland von Norden her halbkreisförmig umfaßt. Die Kreideformation des Kernmünsterlandes ist im Arbeitsgebiet weitgehend durch pleistozäne und holozäne Ablagerungen bedeckt, wobei Geschiebemergel und Terrassenablagerungen eine dominierende Stellung einnehmen. Die Grenze zwischen dem Kernmünsterland (Suttorfer Platte) und dem Ostmünsterland (Emsdettener- und Handorfer Sandplatte) verläuft von der Stadt Münster ausgehend in nordwestlicher Richtung etwa parallel dem Münsterländer Kiessandzug bis zum Hollicher Feld, das nach der naturräumlichen Gliederung bereits dem Westmünsterland angehört (s. Abb. 1a). Das Hollicher Feld stellt zwischen den Städten Burgsteinfurt und Emsdetten eine Talsandplatte dar, die sich weiter untergliedern läßt in zwei Hochmoore, welche der Kiessandzug räumlich voneinander abgrenzt. Nach dem Durchbruch der Kiessandrinne durch die Rheiner Höhen geht der Kiessandzug in das Norddeutsche Tiefland über. Südlich von Münster grenzt der Kiessandzug die von verschiedenen mächtigen Sandlössen bedeckten Gebiete Roxeler Riedel, Davert und Drensteinfurter Platte gegen die Wolbecker Ebene und Hoetmarer Platte ab, um dann zwischen Sendenhorst und Enniger zu enden. Die im großen gesehen eintönig flache Landschaft weist im einzelnen oft eine lebhaftige Gliederung des Reliefs im Bereich weniger Meter auf. Sie wird hervorgerufen durch aufgesetzte Dünen und Flugsandfelder, durch ausgeblasene Deflationswannen und Uferwälle (n. MEISEL 1960/1961).

2.2. Geologische Übersicht

Die Münsterländer Kiessandrinne liegt am Nordrand der Rheinischen Masse bzw. an der Südgrenze des Niedersächsischen Tektogens und gehört größtenteils zur "Münsterländer Abbruchzone". Diese von Rheine bis etwa nach Paderborn reichende Bruchzone gehört zu einem der vielen Randtröge, wie sie an den Rändern der alten Gebirge Mitteleuropas zu finden sind. Sie macht sich sowohl als Faziesgrenze als auch als Grenze zwischen variskischer und saxonischer Tektogenese bemerkbar. Eines der Kennzeichen des Münsterländer Abbruchs ist eine brei-

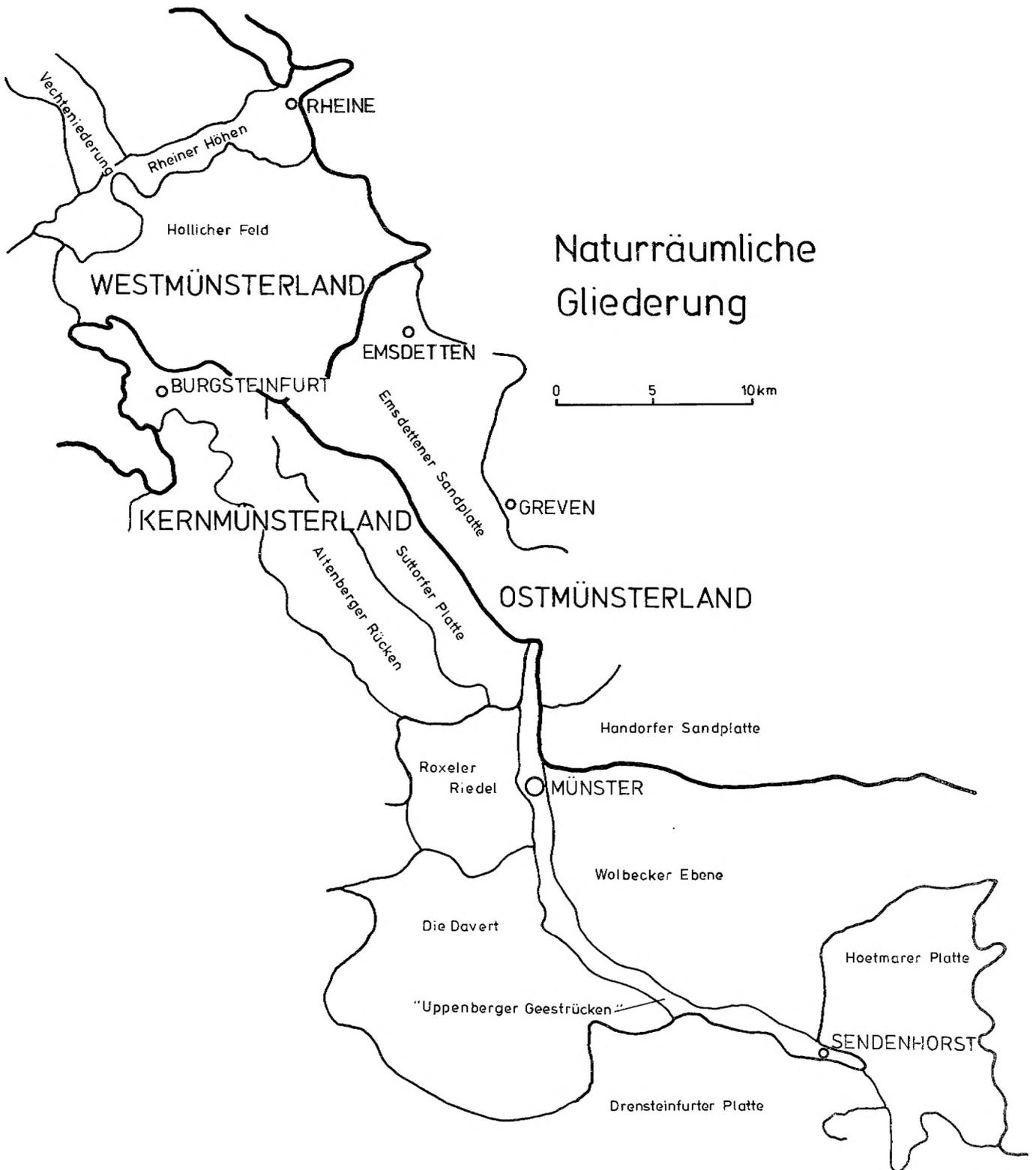


Abb. 1a: Naturräumliche Gliederung des Arbeitsgebietes

Quelle: Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bad Godesberg:
Naturräumliche Gliederung, Blatt 83/84 "Osnabrück/Bentheim" und
Blatt 97 "Münster"

te Schwächezone anstelle einer einzigen Randverwerfung (HESEMANN, 1968:183).

Im Oberkarbon lag das Münsterland im Bereich der subvariskischen Saumsenke und wurde in der asturischen Phase gefaltet. Das der subvariskischen Saumsenke vorgelagerte Niedersächsische Westfal D-Becken blieb dagegen im wesentlichen außerhalb des variskischen Faltungsraumes. In der Folgezeit war dann das Münsterland im Gegensatz zum Niedersächsischen Becken bis zur Oberkreide ein Hochgebiet. Im Oberalb - Cenoman sank der Nordvorsprung der Rheinischen Masse unter den Meeresspiegel und wurde mit über 1500 m mächtigen Oberkreidesedimenten bedeckt. Tektonische Vorgänge haben die westfälische Kreide wegen ihres stabilen Sockels nur schwach beeinflusst. Zu Beginn und Ende der Kreidezeit ist der Unterbau und auch das Deckgebirge von kimmerischen und laramischen Bewegungen betroffen worden. Die Transgression des Tertiärs hat sicherlich das Arbeitsgebiet nicht erreicht; Ablagerungen aus diesem Zeitraum konnten nicht nachgewiesen werden. Während des Quartärs bedeckte das Inlandeis im Mittelpleistozän erstmalig das Gebiet. Glaziale Sedimente sind aber nach dem derzeitigen Kenntnisstand nur aus dem Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit nachweisbar.

2.2.1. Stratigraphie und Fazies

Bei der Beschreibung der einzelnen Schichtglieder wird mit den geologisch ältesten, zutage austreichenden Formationen begonnen. Als Arbeitsunterlagen dienten die geologischen Karten und Erläuterungen der Maßstabblätter OCHTRUP (3709) und RHEINE (3710) (THIERMANN 1968/1973) sowie die geologische Übersichtskarte 1:100 000, Blatt MONSTER (C 4310) von ARNOLD (1960). Daneben wurden eigene Untersuchungsergebnisse und Daten der geoelektrischen Vermessung "Münsterland II" von HALLENBACH (1962) verwendet. Die Tabelle 1 zeigt einen stratigraphischen Überblick der geologischen Formationen im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.

Kreide

Die ältesten zutage austreichenden Schichtglieder sind Oberkreidesedimente des Cenomans, die im Nordteil des engeren Bearbeitungsraumes etwa auf der Linie Rheine - Wettringen (MTB 3709 OCHTRUP/3710 RHEINE) in Form des Höhenzuges Thieberg - Bilkerberg (84,2 m) morphologisch stark in Erscheinung treten.

Die *Cenoman-Mergel* sind gewöhnlich dunkle oder hellgraue Mergelsteine, denen meist nur wenig geschichtete Tonmergelsteine zwischengeschaltet sind. Stellenweise findet man auch Einlagerungen von Pyritkonkretionen und knolligen, hellgrauen Mergelkalksteinen.

Der *Varians-Pläner* entwickelt sich aus den Cenoman-Mergeln durch eine häufige Einschaltung von Mergelkalkbänken. Er besteht im wesentlichen aus graublauen, teilweise unregelmäßig wellig geschichteten Kalkmergelsteinbänken. Die Schichtflächen zeigen oft eine knollig-knauerig und unregelmäßig wellige Ausbildung. Charakteristisch für die Varians-Pläner sind zwischengeschaltete Lagen von dünnschichtigen graublauen Mergelsteinen mit Pyritkonkretionen.

Der *Rhotomagense-Kalk* ist ein verhältnismäßig harter und fast reiner Kalkstein. Er besteht aus weißen bis weißgrauen, knauerigen Kalksteinen, die von grauen feingeschichteten Kalkmergelsteinen unterbrochen werden. Die Kalksteine sind stark geklüftet, brechen muschelrig und besitzen eine rauhe Bruchfläche.

Das Turon ist im Arbeitsgebiet nur durch sein ältestes Schichtglied, dem *Labiatus-Pläner* vertreten und das nur an einigen wenigen Stellen am Südhang des Thieberg-Bilkerberges. Die Labiatus-Pläner werden auch Rotpläner genannt, da sie aus rötlich-braunen und gefleckten Kalkmergelsteinen bestehen. Es treten auch grünlich und hellgraue Mergelsteine auf, die von knollig welligem Aussehen sind.

Das *Coniac* ist an keiner Stelle aufgeschlossen, sondern nur durch einige wenige Bohrungen nachgewiesen worden. HESEMANN (1972:243) beschreibt das Coniac als Umschlag von der Kalk- zur Tonmergelfazies. Die abgelagerten, meist dunkelgrauen Tonmergel sind im Liegenden plattig und bekommen zum Hangenden eine massige Ausbildung. Feinsandbeimengungen sind häufig vertreten.

Wie das Coniac, so ist das *Santon* auch nur durch Bohrungen nachgewiesen. Nach ARNOLD (1964:603) sind die höheren Schichten des Santons der Tonmergelfazies zuzuordnen. Hauptsächlich setzen sich die jüngsten Formationen des Santons aus dunkel- bis mittelgrauen Tonmergelsteinen zusammen.

Das *Campan* tritt im Arbeitsbereich nur an wenigen Stellen zutage, da es meistens von quartären Ablagerungen bedeckt ist. Soweit es den Bearbeitungsraum betrifft, ist es nur zwischen Sendenhorst und Enniger (MTB 4112/4113) aufgeschlossen. Die Fazies ist tonmergelig und enthält neben Einlagerungen von dünnen Kalksandsteinbänkchen auch viele Kalkmergel- und Mergellagen.

Quartär

Die Sedimente des Quartärs nehmen den größten Teil des Bearbeitungsraumes ein. Sie überlagern die älteren Formationen mit verschiedenen mächtigen Schichten aus Sanden und Geschiebemergeln.

Elster-Saale-Interglazial

Die Kenntnisse über Ablagerungen vor der Saale-Kaltzeit sind sehr lückenhaft. Im Bearbeitungsgebiet sind als "Interglazial" bezeichnete, fossilführende Schichten auf der "Geist" bei Münster von WEGNER (1926), STEUSLOFF (1933) und WEHRLI (1941) beschrieben worden. Ein weiteres Vorkommen wurde von LOTZE (1951:258) angeführt und ist ebenfalls dem Elster-Saale-Interglazial zuzuordnen.

Saale-Kaltzeit

Die Saale-Kaltzeit gliedert sich, wie Tab. 1 zeigt, in zwei große Abschnitte, die durch ein Interstadial getrennt sind. Nur der erste, der Drenthe-Vorstoß, erreichte das Arbeitsgebiet.

Drenthe-Stadium

Bei den ältesten Ablagerungen des Drenthe-Stadiums handelt es sich um Geschiebemergel. Vorschüttsande sind im engeren Bereich des Arbeitsgebietes bis jetzt noch nicht nachgewiesen worden. Von den glazigenen Ablagerungen ist die Grundmoräne das verbreitetste Sediment. Bis auf wenige Aussparungen hat sie ursprünglich das gesamte Münsterland bedeckt, ist aber schon während und nach dem Eisrückzug der Erosion zum Opfer gefallen. Heute ist sie weitgehend erodiert, umgelagert oder von jungen Ablagerungen überdeckt. Der Geschiebemergel ist ein schichtungs- und regelloses, meist dunkelgraues bis dunkelbraunes Gemenge von Ton, Mergel, Sand, Kies und Geschieben. Die Zusammensetzung des Geschiebemergels ist örtlich großen Schwankungen unterworfen.

Man kann einen tonreichen und einen sandreichen Geschiebemergel unterscheiden. Der tonreiche Geschiebemergel besitzt eine braungraue bis umbragraue Farbe; wenn er entkalkt ist, nimmt er eine ockerfarbene Färbung an. Er setzt sich hauptsächlich aus den aufgearbeiteten Tonmergelsteinen der Oberkreide zusammen. Der sandreiche Geschiebemergel besteht aus Schluff und Ton und besitzt eine hohe Sandkomponente. Seine Färbung reicht von mittelbraun bis ocker. Größtenteils ist der Geschiebemergel der sandigen Fazies zu Geschiebelehm entkalkt und in seinen obersten Partien auch enttont.

Münsterländer Kiessandzug

Der Münsterländer Kiessandzug bzw. die Münsterländer Kiessandzugrinne gehört zu den großen Destruktionszonen der Saale-Eiszeit. In diesen Bereichen wurde durch das Inlandeis direkt oder indirekt (Schmelzwasser) der quartäre bzw. präquartäre Untergrund ausgeräumt und durch glaziale Sedimente ersetzt.

Mit "Münsterländer Kiessandzug" bezeichnet man eine schmale, nordwestlich-südöstlich streichende langgestreckte Sand-Kies-Zone, die sich teilweise in ihrem Mittelabschnitt als Höhenzug ausgebildet hat. Diese Kiessandzone hat im Mittel eine Breite von etwa 1,5 km, eine Längserstreckung von etwa 80 km und eine Sedimentfüllung, die bis zu 25 m Mächtigkeit erreichen kann.

Der Kiessandzug beginnt östlich von Enniger und verläuft ohne Unterbrechung als geschlossener Zug leicht S-förmig von Münster über Ahlntel, St.-Arnold bis Haddorf, wo er den Bearbeitungsraum verläßt, um dann nordwestlich von Schüttorf (Niedersachsen) zu enden. (s. Abb. 2). Erstmals wurde der Münsterländer Kiessandzug von von der MARCK (1858) und HOSIUS (1860) erwähnt. HOSIUS versuchte, die Entstehung als Drift zu erklären. Seine erste eingehendere Bearbeitung erfuhr der Kiessandzug durch WEGNER (1908, 1910, 1926), der ihn als Endmoräne deutete, die sich entlang dem Eisrand in zwei großen Bögen aufgehäuft hat, dem Münsterschen Bogen und dem Neuenkirchener Bogen. WOLF (1927), WOLDSTEDT (1935) und SCHNEIDER (1938) widersprechen der WEGNERSchen Auffassung. Sie bezeichnen die Grobsandzone als kames- oder osartige Bildung. Nach SCHNEIDER (1938:608-613) soll das Wasser zwischen Eiswänden in etwa nördlicher Richtung geflossen sein, da sonst an eine Aufschüttung über das Gelände nicht zu denken ist. Trotz der wenigen Arbeiten in jüngster Zeit von ARNOLD (1960), BAECKER (1963) und WIEGEL (1957) konnte die Genese des Kiessandzuges bis heute noch nicht geklärt werden, jedoch dürften etwas modifiziert die Publikationen von LOTZE (1951, 1954) der Realität am nächsten kommen.

Die Kiessandzugrinne hat den Charakter eines Erosionstales mit einem im großen bogenförmig geschwungenen Verlauf. Eine Parallelität zur Ems ist unverkennbar, und daher liegt der Schluß nahe, daß beide Rinnensysteme im Ursprung dem gleichen Umstand zuzuschreiben sind. Im vorliegenden Falle dürfte es sich in der tektonischen Anlage beider Systeme um Durchpausungsstrukturen handeln.

Etwas einfacher erscheint zunächst die Erklärung der Entstehung der eigentlichen Kiessandzone zu sein. Durch Arbeiten von STEUSLOFF (1933) und WEHRLI (1941) ergeben sich Hinweise darauf, daß die ältesten Ablage-

Quartär	HOLOZÄN	0.01 Mio. J.		Subatlantikum Subboreal Atlantikum Boreal Präboreal	Auelehm, jüngere Dünen, jüngere Flugsande, Nieder- Hochmoor, Dünen, Flugsande, Wiesenmergel	Lehm Mittel-, Fein- sande, Torf, Mittel- Feinsande, Mergel	
	PLEISTOZÄN		Weichsel- Kaltzeit	Jüngere Dryas-Zeit	Wiesenmergel, Dünen Flugsande, Uferwall ältere Flugsande	Nieder- terrasse	Mergel, Fein- Mittelsande, Ton Schluff, Sand, Sande
				Alleröd-Interstadial			
				Ältere Dryas-Zeit			
				Bölling-Interstadial			
				Älteste Dryas-Zeit			
				Hochglazial Frühglazial			
	Eem- Warmzeit	nicht nachgewiesen					
		Warthe-Stadium	jüngere Mittel- terrasse	Schluffe, Mergel			
		Gerdau-Interstadial nicht nachgewiesen					
	Saale- Kaltzeit	Drenthe-Stadium	<i>MÜNST. KIESSANDZUG</i> Grundmoräne Vorschüttbildungen ältere Mittel- terrasse	Kies, Sand Geschiebemerg. Sand, Kies Sand, Kies			
	0.435 Mio. J.	Holstein- Warmzeit			Sande		
Kreide	O-KREIDE	80 Mio. J.	Campan Santon Coniac Turon Cenoman			Ton-, Sandmerg. Tonmergelstein Tonmergelstein Kalkmergel- Kalkstein, Mergel- -Kalkmergelst.	
	U-KREIDE		Alb Apt Barreme			Tonmergel Tonmergelstein Tonstein	

Tab. 1: Stratigraphische Einheiten im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.

rungen der Rinnenfüllung mindestens präsaalischen Alters sind. Die nächstjüngeren Sedimentationshorizonte stellen die Grobsande und Kiese des Münsterländer Kiessandzuges dar. LOTZE (1951:326) erklärt die Entstehung des Kiessandzuges damit, daß sich die Morphologie des Kreideuntergrundes unter dem Eis abgeschwächt wiedergibt, was dann einer Talung auf der Eisoberfläche gleichkommt, die beim Abtauen zur Sammelwanne der Schmelzwässer und durch diese zur Erosionsrinne wurde, in der sich die Sande und Kiese ablagerten. Nach dem Abtauen des Eises blieb dann der Kiessandzug zurück, der somit nach der allgemeinen Definition von KELLER (1952:127 bis 132) und WOLDSTEDT (1961:129) als Kame zu deuten ist. Die engen genetischen Beziehungen zwischen Schmelzwasserablagerungen und dem umgebenden Eis sind durch das Verzähnen und allmähliche Übergehen der Schotter und Sande in den Geschiebemergel durch mehrere Bohrungen dokumentiert: THIERMANN (1963:69), LOTZE (1954:5), WYRWICH (1976:55); s.a. Abb.3a - 3d.

Eine Vielzahl von Tief- und Flachentsandungen geben einen guten Überblick über den inneren Aufbau des Kiessandzuges. Die Schüttungsrichtung und damit die Fließrichtung des saaleeiszeitlichen Gewässers war von NW nach SE gerichtet. Bei den Sedimenten des Kiessandzuges handelt es sich primär um Mittel- bis Grobsande sowie kiesiges Material mit bis kopfgroßen Geschieben und Tongeröllern. Der Kern des Kiessandzuges unterscheidet sich vom hangenden Teil durch kiesige Grobsande mit kopfgroßen Geschieben aus nordischem und einheimischem Material und zerfallenen Tongeröllern. Stellenweise sind auch Fein- und Mittelsande eingeschaltet. Ein kontinuierlicher Übergang von grobem zu feinem Material läßt sich nicht feststellen. Vielmehr wechseln sich fein- und grobkörnige Schichten ab. Insgesamt kann man zum Hangenden zu eine Abnahme des grobkörnigen Materials erkennen. Diesen stratigraphisch höheren Teil des Kiessandzuges nehmen gelblich-weiße, scharfe, teils tonig-schluffige Mittelsande und Kiese ein. Die häufigste Sedimentstruktur ist die Kreuzschichtung mit dem für Schmelzwässer charakteristischen schnellen horizontalen und vertikalen Materialwechsel.

Wie sowohl das Längsprofil (Abb.4) als auch die Quartärbasiskarte über den Kiessandzug-Bereich (Abb.28) veranschaulichen, ist die Kiessandzugrinne nicht als geschlossene Rinne anzusehen, sondern sie stellt sich dar als ein System von hintereinandergeschalteten "Becken". BAECKER (1963:67) deutet diese Morphologie als große kolkartige Vertiefungen, die durch das Herabstürzen der Schmelzwässer von der Eisoberfläche aus großer Höhe entstanden sind, wobei der Kreide-Untergrund ausgespült wurde.

Auch die Morphologie der Oberfläche läßt nur noch teilweise einen geschlossenen Zug ("Wallberg") erkennen. Die heute noch vorhandenen Erhebungen zum Beispiel im Raume Haddorf - Ahlintel sind Erosionsreste. Anderswo, so zum Beispiel zwischen Enniger und Albersloh, ist der Kiessandzug teilweise völlig eingeebnet oder der drenthezeitliche Rinneninhalt ist ausgeräumt und durch jungpleistozäne Ablagerungen ersetzt. In weiten Teilen, besonders zwischen Sprakel und Ahlintel sowie nordöstlich von Borghorst, legten sich über die Abtragungs- und Einebnungsflächen die Sedimente der Niederterrasse.

Obwohl man sich aus den vorhandenen Unterlagen doch ein gutes Allgemeinbild über den Kiessandzug machen kann, muß eine genaue Erklärung der Genese noch offen bleiben. Die Entstehung scheint komplexer zu sein, da nicht alle Beobachtungen eine plausible Erklärung finden. So liegt zum Beispiel die Achse des Höhenzuges auf der Linie zwischen Sendenhorst und Albersloh nicht genau über der Rinnenachse, sondern ist deutlich in nördliche Richtung versetzt. Auch das von LOTZE (1951:326) östlich von Enniger postulierte Sanderfeld kann nicht nachgewiesen werden.

Warthe-Stadium

Während des Warthe-Stadiums herrschte im Münsterland ein ausgeprägtes Periglazial-Klima. In dieser Zeit wurden nach LOTZE (1954:151) und BAECKER (1963:65,66) schluffige Feinsande und graue Schluffe abgelagert, welche zwischen Münster und Greven im Bereich des Kiessandzuges relativ mächtig sind. Eine genaue stratigraphische Abgrenzung zu ihrem Hangenden, der Oberen Niederterrasse, ist schwierig, da es an geeigneten Leithorizonten fehlt.

Weichsel-Kaltzeit

Den Hauptteil des Randbereiches des Kiessandzuges nehmen Ems-Niederterrassen-Ablagerungen ein. Diese Sedimente sind fluviatiler Bildung und werden auch Talsande genannt. In der geologischen Übersichtskarte werden die Obere Niederterrasse und die Untere Niederterrasse zusammengefaßt. Da die Sedimente der Unteren Niederterrasse nur an einigen wenigen Stellen kartiert werden konnten, beschränkt sich die Beschreibung auf die Obere Niederterrasse. Die Obere Niederterrasse ist deutlich zweigegliedert. Der jüngere Teil besteht aus einem Sandhorizont, zum Liegenden hin werden die Sedimente schluffiger. Der Sandhorizont besteht meist aus schluff- und/oder

mittelsandhaltigem Feinsand, der untere Horizont aus schluffigem Feinsand bis feinsandigem Schluff. Die Tal-sande werden vielfach durch Dünen und Flugsandfelder überdeckt.

Holozän

Neben mehreren unbedeutenden anmoorigen Bildungen erlangen zwei Moore speziell hydrogeologische Bedeutung. Das Borghorster Feld und das Emsdettener Venn sind als Hochmoore zu bezeichnen, die der Kiessandzug voneinander abgrenzt.

2.2.2. Photogeologie

Ein Vorteil der Satellitenaufnahmen liegt in der Erfassung eines großen Bereiches unter gleichen Beleuchtungsverhältnissen. In konventionellen Luftbildfolgen variieren dagegen die Beleuchtungsverhältnisse, wodurch eine Auswertung erschwert wird. Aus Satelliten aufgenommene Senkrechtaufnahmen der Erdoberfläche weisen auch nur eine schwache Verzerrung auf und sind daher von guter Lagegenauigkeit. Die Detaillierkennbarkeit der LANDSAT-Aufnahmen liegt etwa bei 75 m (LIST 1975:332). Innerhalb des elektromagnetischen Spektrums ist nicht nur der enge Bereich des sichtbaren Lichtes nutzbar, sondern man kann die Beobachtungen auf die angrenzenden Wellenbereiche ausdehnen. Das Aufnahmesystem des LANDSAT verfügt über einen Multi-Spektral-Scanner mit vier Kanälen, die den Wellenbereich zwischen 0,5 und 1,1 μm abdecken. Die einzelnen Bänder grenzen sich wie folgt ab:

Band 4	0,5 - 0,6 μm
Band 5	0,6 - 0,7 μm
Band 6	0,7 - 0,8 μm
Band 7	0,8 - 1,1 μm

Die Satellitenaufnahmen umfassen jeweils ein Gebiet von 185 x 185 km und überschneiden sich in Flugrichtung zu etwa 10 %. Zur Auswertung wurden in der vorliegenden Arbeit die Aufnahmen der Kanäle 5 und 7 verwendet, die auf den Maßstab 1:200 000 vergrößert wurden, was sie mit der orohydrographischen Karte gleichen Maßstabes vergleichbar macht. Alle Lineare wurden dreimal auf Astralon-Folie durchgezeichnet, miteinander verglichen und korrigiert. Die endgültige Analyse der Daten erfolgte, soweit vorhanden, mit Literaturdaten, denn eine unmittelbare Geländeüberprüfung war aufgrund der geologischen Gegebenheiten im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

Linearkartierung

Die Eigenart des photographischen Films, lineare Objekte auch dann zu erfassen, wenn ihre Breitenausdehnung unterhalb des Auflösungsvermögens liegt, kommt der Kartierung von Photolineationen sehr zustatten (GONTER 1972:69). In der Photogeologie versteht man unter dem Begriff Lineation geradlinige oder schwach gekrümmte Elemente einer Landschaft, die sich in der Morphologie, in Flußnetzen, in der Vegetation oder im Grauton abzeichnen und die auf Klüfte und Störungen zurückgehen (KRONENBERG 1967:218). Nicht immer müssen Lineationen tektonische Trennflächen darstellen; so können beispielsweise landschaftlich bedingte Vegetationsgrenzen, Pipelines, Jetstreifen und auch Elektronikstörungen im Aufnahmesystem des Flugkörpers die Ursache sein. Diese Art von Fehlern fällt aber sowohl beim Vergleich mit der topographischen Karte als auch mit dem Gesamtstrukturplan auf.

Strukturanalyse

Im Mittelpunkt der Aufgabenstellung für die Strukturanalyse stand, eine Vorstellung zu bekommen über die nur schwer kartierbare Tektonik der weitgehend unter Quartärbedeckung liegenden Kreideformationen unter Berücksichtigung der tektonischen Anlage, speziell von Rinnen, wie Ems- und Münsterländer Kiessandrinne.

Ursächlich liegt die Linearbildung in der Projektion flächiger oder körperhafter Inhomogenitäten des tiefen tektonischen Stockwerkes in das hangende Deckgebirge. Bei erneuter tektonischer Beanspruchung entstehen dann Durchpausungs-Strukturen. Diese sind besonders im Bereich der großen tektonischen Bruchlinien, wie z.B. der Mittelmeer-Mjösen-Zone zu erkennen. Es kann sich aber auch um ganze Strukturnetze handeln, wie sie im Untergrund des Rheinischen Schiefergebirges belegt sind (GERLACH 1977). Die Beeinflussung des örtlichen Bildes resultiert aber nicht nur aus bruchtektonisch erzeugten Schwächezonen, sondern es lassen sich auch anders geartete Inhomogenitäten des unteren Stockwerkes erkennen. Hierzu gehören zum Beispiel ehemalige Schwellenzonen in Geosynklinalen, alt angelegte Antiklinalen oder Intrusionskörper. Als sekundäre Erscheinungen der Linearbildung folgen Bodendurchfeuchtung und Wasserbewegung im Untergrund, zusammen mit zum Teil anisotroper Wärmestromdichte. In allen Fällen spielt aber beim Zustandekommen der Abbildungen die Gezeitendeformation der Erdkruste eine entscheidende Rolle (REUL 1972:4).

Auswertung der Lineationen

Die Verteilung und Richtung der Photolineationen im bearbeiteten Gebiet zeigt ein sehr differenziertes Muster der regionalen Bruchtektonik (s. Abb.1b). Wie aus den einschlägigen Publikationen, vor allem von PILGER (1955, 1956, 1957, 1965) hervorgeht, hat sich die Bruchtektonik des paläozoischen Grundgebirges nicht nur durch die mächtigen Sedimentfolgen der Kreide, sondern auch noch durch die Quartärablagerungen nach oben durchgepaust,

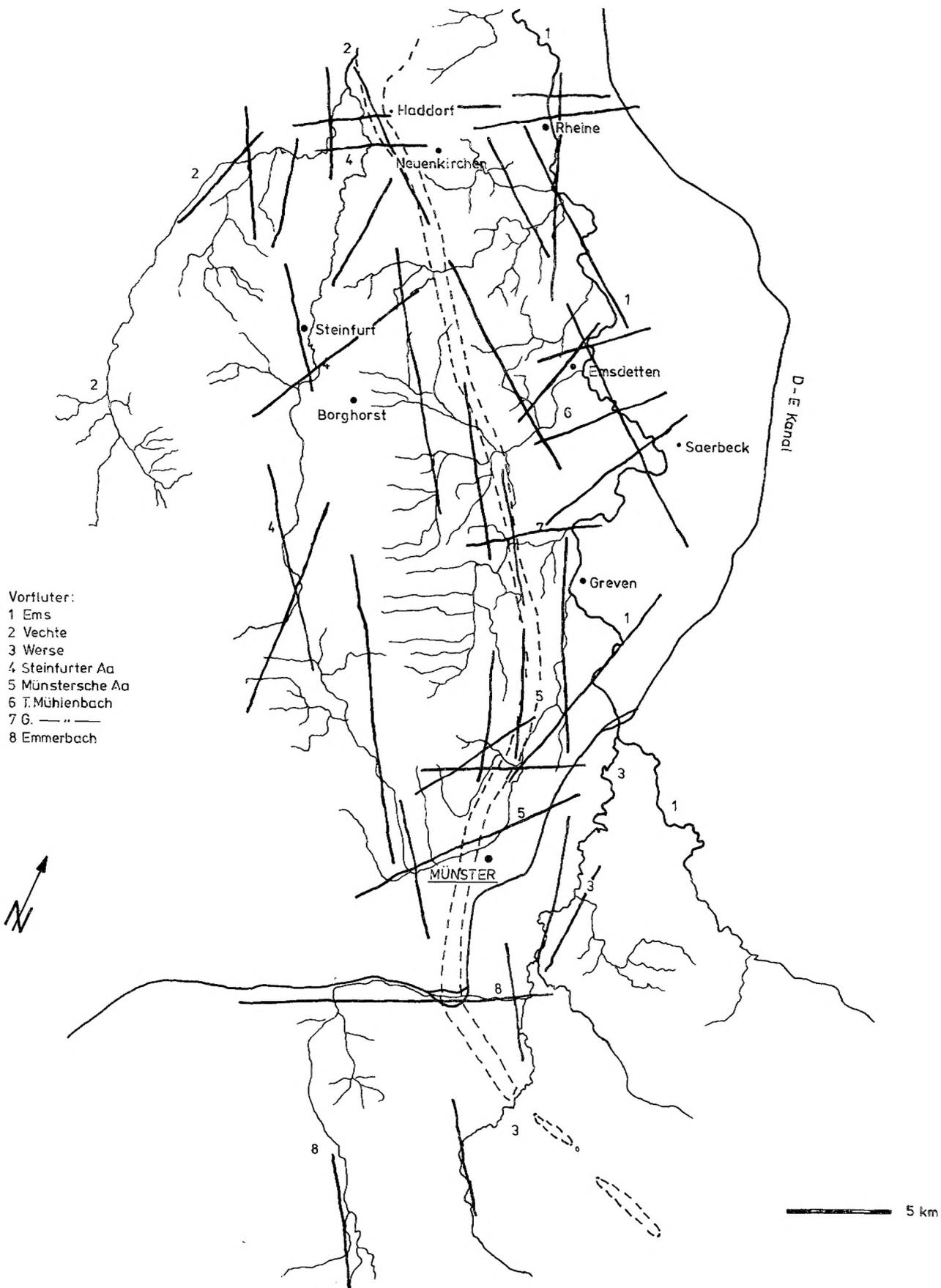


Abb. 1b: Linearkarte des Arbeitsgebietes

da die vorhandenen Bruchzonen auch noch rezent wirksam sind. Der geologische Bauplan des paläozoischen Stockwerks tritt besonders mit NE bis ENE streichenden Linearen in Erscheinung, die ihren Ursprung an zahlreichen, von Störungen versetzten Sattel- und Muldenstrukturen der variskischen Falten tektonik haben. Etwa senkrecht zum variskischen Streichen treten NW bis NNW streichende Lineationen ("eggische Richtung") auf, die variskische Querstörungen darstellen. Unabhängig von der eggischen und der variskischen Streichrichtung fallen etwa Nord-Süd (rheinisch) und WNW-ESE (herzynisch) streichende Störungszonen auf, die unabhängig vom variskischen Spannungsfeld sind.

Lineationen und Rinnensysteme

Der Nordwestteil des Arbeitsgebietes ist durch den Nordteil der Münster'schen Oberkreidetafel begrenzt. Er ist durch herzynisch und variskisch verlaufende Lineare gekennzeichnet. Bei der Stadt Rheine, am Schnittpunkt eines herzynischen und variskischen Linears, liegt der Knick der Münsterlandscholle (WOLBURG 1953:75). Er ist durch zahlreiche eggisch streichende Querstörungen gekennzeichnet, was auch in der Linearkarte zu erkennen ist. Aus Abb.1b geht weiterhin hervor, daß die herzynische Tektonik bis auf die Höhe der Gemeinde Saerbeck die Richtung der Ems-, der Münsterländer Kiessand-, der Vechte- und der Steinfurter Aa-Rinne vorgezeichnet hat. Besonders auffallend ist die Parallelität der Ems- und der Kiessandzugrinne über ihren gesamten Verlauf, der zwischen den Gemeinden Saerbeck und Greven durch jeweils ein etwa N-S verlaufendes Linear unterbrochen wird. Auf der Linearkarte können die den Kiessandzug und die Ems betreffenden Lineationen aus Genauigkeitsgründen leider nur bis auf die Höhe der Stadt Münster verfolgt werden, da hier die Streichrichtung fast nach Osten umbiegt. Die Schwierigkeiten resultieren aus dem hohen Auflösungsvermögen der Zeilen durch die Vergrößerung der Satellitenaufnahme (Zeilenverlauf etwa W-E).

Im gesamten Arbeitsgebiet und weit darüber hinaus wird die Gestalt des Gewässernetzes durch posthume Bewegungen an paläozoischen Strukturen beeinflusst. Das gilt auch für Vorfluter niederer Ordnung, wie etwa Emmerbach und Münstersche Aa. Die Münstersche Aa fließt im Oberlauf in herzynischer Richtung, folgt bei Münster auf wenige Kilometer der variskischen Streichrichtung, um dann einem eggischen Linear bis zur Mündung in die Ems zu folgen.

Bei Betrachtung und Vergleich des vorliegenden Strukturmodells mit dem heutigen Gewässernetz drängt sich die These auf, daß in präquartärer Zeit die Münsterländer Kiessandrinne, oder zumindest Teile davon, als Hauptvorfluter fungierten, bedingt durch die Benutzung von Strukturelementen der Emslineare und deren linksseitigen Anschlüssen. Als Beispiel könnte die Urrinne des Mühlenbaches bei Greven, die eine Verbindung zwischen Ems- und Kiessandzugrinne herstellt, angeführt werden. Die vermutete Bedeutung der Kiessandzugrinne wird noch untermauert mit dem Durchbruch durch den Oberkreiderücken bei der Gemeinde Haddorf. In der Literatur ist dieser Durchbruch bekannt durch die Vechte-Störung (HOYER 1968) und ist in seiner Größe dem der Ems bei Rheine durch die gleiche Struktur gleichzusetzen. Auch hier bietet sich eine analoge Erklärung wie oben aufgeführt an (s. Abb.1b).

Zusammenfassung

Die Auswertung der ERTS-Aufnahme der Münsterländer Bucht liefert weitere Informationen über die Tektonik des Paläozoikums und ihre Durchpausungs-Strukturen. Die Schwierigkeiten bei der Auswertung und Interpretation sind größer als bei vergleichbaren Arbeiten im Rheinischen Schiefergebirge, besonders die Unsicherheit, nicht-tektonische Lineationen als solche anzusehen. Mit Hilfe eines Falschfarbeninfrarotbildes wäre die Möglichkeit einer besseren Auswertung gegeben. Durch die rein visuelle Auswertung der Satellitenaufnahmen läßt sich nur ein Teil der Informationen auswerten, die in Bildern bzw. Magnetbändern gespeichert sind. Eine wesentliche Verdichtung der Aussagen verspricht die Digitalauswertung der Magnetbänder (LIST 1975:343). Weitere Möglichkeiten verspricht das Seitwärts-Radar ("SLAR") zu erschließen, womit in den USA schon einige Projekte durchgeführt wurden.

2.2.3. Hydrogeologie

Die Münsterländer Bucht bildet infolge des allseitigen Einfallens der Schichten zum Zentrum hin ein großes Grundwassersammelbecken. Es lassen sich mehrere Stockwerke mit eigener Grundwasser-Fließrichtung unterscheiden.

Grundwasserleiter mit vorwiegend Porengrundwasser

Die eiszeitlichen Ablagerungen des Quartärs sind bestimmend für die Hydrogeologie des Bearbeitungsraumes. Die quartären Lockersedimente liegen größtenteils auf den schwerdurchlässigen Formationen der Oberkreide. Sie 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 sehr stark durch genetische Vorgänge beeinflussten Gestalt der Porenräume ab. Für den gesamten Bereich des Münsterländer Kiessandzuges wurden im Abschnitt "Hydrologische Verhältnisse" die Durchlässigkeiten bestimmt und gegenübergestellt. 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.

Grundwasserleiter mit überwiegend Kluftgrundwasser

Die Verbreitung dieser Formation geht aus der Abb. 3 hervor und beschränkt sich im wesentlichen auf den Randbereich des Kiessandzuges. Von relativer Bedeutung scheint ihr Einfluß nur im Nordabschnitt zu sein, wo die Kiessandrinne den Oberkreidekalkzug durchbricht. Das Ausmaß der Gebirgsdurchlässigkeit beruht bei allen Festgesteinen in unterschiedlichem Maße auf der Trennfugendurchlässigkeit. Die wasserwegsameren Trennfugen sind hier Kluftflächen, Bankungsfugen und Lösungshohlräume. Allgemein verbreitet und für die Wasserbewegung wichtig sind die oberflächennahen Auflockerungserscheinungen.

Die Festgesteine der Unter- bzw. Oberkreide, auf denen die Quartärsedimente liegen, sind hauptsächlich Tonmergel- und Mergelsteine der Oberkreide, die nach dem Durchbruch der Kiessandrinne durch den Kreidekalkzug südwestlich von Neuenkirchen von Gesteinen der höheren Unterkreide unterlagert werden. Wechselnde Ergiebigkeiten kennzeichnen diesen Grundwasserleiter, was auf die Einschaltung von Sandsteinbänken in die Unterkreide-Tonsteine zurückzuführen ist.

Die Tonmergelsteine und Mergelsteine des Cenomans und Santons kann man nicht als Grundwasserstauer ansprechen; Auflockerungserscheinungen im oberflächennahen Bereich sind dabei kaum von Bedeutung. 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 tektonischen Bewegungen reagierten.

Das etwa gleiche hydrologische Verhalten zeigen die Tonmergelsteine und Mergelsteine des Cenomans und des Turons in größeren Teufen, lediglich im oberflächennahen Auflockerungsbereich führen sie örtlich etwas Grundwasser. Als den im Verhältnis besten Grundwasserleiter darf man die Kalksteine des Cenomans und des Turons bezeichnen, die eine gute Trennfugendurchlässigkeit auch bis in größere Tiefen verzeichnen können.

Tab. 2 gibt einen Gesamtüberblick der wasserwirtschaftlichen Wertigkeit der Gesteine bzw. Sedimente im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.

2.2.4. Bodenkunde

Auf den kiesig-sandigen Sedimenten des Münsterländer Kiessandzuges und seines Randgebietes konnten sich Podsole unterschiedlicher Ausprägung bilden. Sie sind der vorherrschende Bodentyp auf den basenarmen Sanden. Der Podsol ist durch das stark differenzierte Profil, durch Tonzerstörung und Abwärtsverlagerung von organischen und mineralischen Stoffen gekennzeichnet. Daraus folgt eine Gliederung des Bodens in einen grauen Verarmungshorizont und einen braunschwarzen bis rotbraunen Anreicherungshorizont, der je nach Verfestigungsgrad als Ortsstein oder Ortserde ausgebildet sein kann. Auf dem Kiessandzug und seinem Randbereich lassen sich die Podsole größtenteils gut differenzieren. An weiteren Bodentypen findet man noch Gley, Niedermoortorf und Hochmoortorf, die aber in ihrer Verbreitung im Bearbeitungsgebiet weit zurückstehen (s. Tab. 3).

2.3. Klimatologie

Die Klimaverhältnisse bilden einen wesentlichen Teil der wasserwirtschaftlichen Planung, da sie für das Wasserdargebot von entscheidender Bedeutung sind. Der gesamte Arbeitsbereich ist der nordwestdeutschen Klimaregion zuzuordnen. Nordwestdeutschland gehört der gemäßigten Zone an; es bildet ein Grenzgebiet für das ozeanische Klima Nordwesteuropas und das schon mehr kontinentale Klima Mitteleuropas. Alle klimatischen Erscheinungen werden nicht allein durch die geographische Breite, Höhe und Lage zum Meer, sondern durch den ganzen Charakter der atmosphärischen Zirkulation bestimmt. Drei Aktionszentren sind für die Luftdruckverhältnisse Nordwestdeutschlands ausschlaggebend:

- a) das beständige Azoren-Maximum
- b) das weniger beständige Island-Minimum
- c) die winterliche sibirisch-russische Antizyklone, die über das europäische Festland hin einen Ausläufer zum Azorenhoch aussendet und im Sommer durch ein ausgedehntes Barometerminimum abgelöst wird.

Diese Zentren gestalten die Witterungszustände in Nordwestdeutschland, deren Durchschnitt auch das Klima des Untersuchungsgebietes bildet.

Niederschlag

Die Verteilung des Niederschlages ist eine Funktion des Zusammenspiels verschiedener Faktoren. Als wesentliche Parameter sind anzusehen: Die Lage zu den Aktionszentren und Strömungssystemen der Erde, sowie eine Abhängigkeit von der Seehöhe. Die regenbringenden, in Deutschland meist aus westlicher Richtung kommenden Luftmassen stauen sich an den Höhenzügen und werden zum Aufsteigen gezwungen. Dabei auftretende Niederschläge sind in der Regel die Folge, wobei die Intensität von der in den Luftmassen vorhandenen Feuchtigkeit und dem Ausmaß der Hebung der Luftmassen abhängt. Aber nicht nur die Höhe des Hindernisses ist dabei wesentlich, sondern auch dessen Form und Lage zu den vorherrschenden Strömungen. Das Absteigen der Luft nach Überschreiten des Gebirges bedingt einen Rückgang der Niederschläge, eine Abnahme der Bewölkung und eine Temperaturzunahme. Aus diesen Gründen weisen die Abhänge im Luv der Gebirge höhere Niederschlagssummen auf als die im Lee. Diese Stauwirkung macht sich auf den Verteilungskarten des Niederschlages bemerkbar (KLIMAATLAS NW, 1960). Die Münsterländer Bucht bietet ein gering differenziertes Bild in der Regenverteilung. Der größte Teil gehört der Stufe 700 bis 800 mm/a, genauer 700 - 750 mm/a an. Die entscheidende Einflußgröße auf die Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet bilden die Baumberge und ihre Ausläufer, die Schöppinger Berge, infolge ihres Staueffektes. Man kann diese Region als Regeninsel bezeichnen, denn die mittleren jährlichen Niederschlagssummen liegen bei über 800 mm/a. Im nordöstlichen Vorland dieser Höhenzüge bildet sich das Leegebiet aus, das größtenteils den Münsterländer Kiessandzug mit einem mittleren Jahresniederschlag von etwa 700 mm umfaßt. Der Kern des Leegebietes liegt im Bereich von Greven mit unter 650 mm mittleren Niederschlag pro Jahr und prägt sich bei starkem Auftreten des Südwestwindes im Herbst und im Winter besonders deutlich aus.

Die Niederschlagsmengen unterliegen sowohl periodischen als auch unperiodischen Schwankungen. Die periodischen Schwankungen (Jahres- und Tagesgang) sind nicht besonders ausgeprägt, da sie auf mehrere, in sich auch nicht konstante Faktoren zurückgehen. Gleichwohl ist die Periodizität der Niederschläge eines der wichtigsten Klimaindizien und von entscheidender Bedeutung für die Vegetation. Der Jahresgang der Niederschläge zeigt, daß sowohl der maritime als auch der kontinentale Typ vorhanden sind. Die Herbst- und Winterregen sind im allgemeinen maritime, Frühlings- und Sommerregen kontinentale Erscheinungen. Nach Jahreszeiten geordnet, ist der Sommer am regenreichsten, gefolgt von Herbst und Winter, denen sich in größerem Abstand der Frühling anschließt. Mit dem Wechsel der beiden Typen von Jahresgängen ist gleichzeitig ein solcher der Niederschlagsart verbunden. Das sommerliche Maximum des kontinentalen Typs existiert aus einem zusätzlichen Konvektionseinfluß. Durch die erhöhte Feuchtigkeitskapazität warmer Luft regnet es nur im Sommer seltener, aber dafür ergiebiger. Aus Tab.4 geht hervor, daß sich im Mittel die Monate Juli-August und Dezember-Januar durch höhere Niederschläge auszeichnen. Das Wintermaximum ist zurückzuführen auf eine niedrigere Wintertemperatur und höhere relative Luftfeuchte. Diese Niederschläge haben rein zyklonischen Charakter und stehen in der Menge hinter denen des Sommers. Angaben über extreme Jahressummen des Niederschlages sind aus Tab.5 zu entnehmen.

Lufttemperatur

Unter den klimatischen Elementen spielt die Lufttemperatur zusammen mit dem Niederschlag die entscheidende Rolle. Vom Strahlungshaushalt eines Punktes der Erde hängt dessen Wärmehaushalt ab. Ausdruck dieser Energieumsätze ist die Kurve des Temperaturganges. Für den Zeitraum 1931 - 1960 sind auf Tab.6 das mittlere Monats-

und das langjährige Jahresmittel der Klimastation Münster aufgezeichnet. Der Tagesgang der Temperatur ist primär abhängig von der Bilanz zwischen Ein- und Ausstrahlung an der Erdoberfläche, kann aber durch die Parameter Wind, Bewölkung, Verdunstung - um die wesentlichen Faktoren zu nennen - bis zur Gegensätzlichkeit deformiert werden. Es ist daher nur zweckmäßig, eine Betrachtung der langjährigen Monatsmittel vorzunehmen.

Die Temperaturen des Münsterländischen Raumes sind vom Meer beeinflusst und daher verhältnismäßig ausgeglichen. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt für Münster $9,3^{\circ}\text{C}$. Als verhältnismäßig klein kann man die Temperaturdifferenz zwischen dem kältesten Monat (Januar) und dem wärmsten Monat (Juli) ansehen. Das Temperaturmittel des Januars beträgt $1,2^{\circ}\text{C}$, die mittlere Julitemperatur $17,4^{\circ}\text{C}$. Bei Betrachtung der Jahresgangkurve sind die Temperaturen im Dezember, Januar und Februar auf einem Minimum, um dann erst langsam, später schneller anzusteigen. Der größte Anstieg erfolgt von April bis Mai mit $4,2^{\circ}\text{C}$, dann verlangsamt sich die Zunahme. Im Juli wird die Höchsttemperatur erreicht. Auch die Abnahme setzt zunächst kaum merklich ein, so daß die Monate Juni bis August sich nicht erheblich voneinander unterscheiden. Erst von Ende August an sinkt die Temperatur stärker, bis sie dann im Januar wieder einen Tiefstand von $1,2^{\circ}\text{C}$ erreicht hat.

Den *Schneeverhältnissen* kommt für den Wasserhaushalt eine besondere Bedeutung zu. Der in den Wintermonaten als Schnee fallende Niederschlag schützt den Boden vor zu starker Abkühlung. Vielfach steht dieser Niederschlag dem Abfluß oder dem Einsickern in den Boden nicht sofort zur Verfügung, sondern er wird in Form der Schneedecke gespeichert. Die Schneeverhältnisse sind in erster Linie abhängig von der Temperatur und von der Menge des in der kalten Jahreszeit fallenden Niederschlages (s.Tab.7).

Relative Luftfeuchte

Mit dem Begriff der Luftfeuchtigkeit sind drei Vorgänge erfaßt, die als Verdunstung, Kondensation und Niederschlag großes Gewicht bei der Abgrenzung der Klimatypen haben (HEMPEL 1974:27). Aus Tab.8 ergibt sich für die Station Münster ein Jahresmittel von 80 %, das als relativ hoch anzusehen ist und aus dem Einfluß des Meeres resultiert. Im Jahresgang der relativen Luftfeuchte tritt das Maximum von 85 - 87 % in den Monaten November bis Januar ein. Danach nimmt die Feuchte rasch ab und erreicht mit 72 % im Mai ihr Minimum.

Luftdruck und Windverhältnisse

Für das Klima eines Gebietes hat der Luftdruck weniger eine direkte als eine indirekte Bedeutung, im Gegensatz zu dem Stellenwert, den man ihm in der Meteorologie zumißt. Unterschiede der Luftdichte und vornehmlich des Luftdruckes erzeugen Spannungen, die zum Ausgleich streben und sich als Wind dann bemerkbar machen. Die mehrjährigen Meßwerte von Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten der Klimastationen Münster und Ochtrup können für das gesamte Untersuchungsgebiet als repräsentativ angesehen werden (s. Tab.9 - 11). Während bei den dargestellten Windrichtungen der Stationen Münster und Ochtrup Südwesten im Mittel über das Jahr die Hauptwindrichtung bleibt, stellt sich jahreszeitlich ein etwas differenzierteres Bild dar. Im Winter herrscht die Windrichtung Südwest vor, entsprechend der Verstärkung des zyklonalen Einflusses (HEMPEL 1974:45-47). Das Frühjahr zeichnet sich aus durch Windeinflüsse aus der Nord- bis Nordost-Richtung und dem immer präsenten Südwest-Mittel, das sich wegen der Vermehrung der Nordwest- und Westwinde bis in den Frühsommer hält. In den Sommer- und Herbstmonaten bewirken südliche und östliche Winde eine geringe Verlagerung der mittleren Windrichtung von Südwesten nach Süden.

Zusammenfassung

Der Wasserhaushalt wird klimatisch durch die Luftmassen bestimmt, die bei den einzelnen Wetterlagen aus den verschiedenen Richtungen herangeführt werden. Ihre unterschiedlichen Auswirkungen auf die einzelnen Klimaelemente beeinflussen nicht nur den Wasserhaushalt, sondern bestimmen auch die phänologischen Daten. Der "Münsterländische Klimatyp" wird gekennzeichnet durch Wärme in allen Jahreszeiten, was auch zum Ausdruck kommt durch eine mittlere Jahrestemperatur, die im Bereich von $8 - 9^{\circ}\text{C}$ liegt. Die Zahl der Eistage ist mit 15 Tagen als gering anzusehen, die Frosttage erreichen mittlere Werte von 80 Tagen und die Anzahl der Sommertage liegt in den Grenzen von 20 - 30 Tagen. Ebenso wie die Temperaturen maritim beeinflusst werden und daher verhältnismäßig ausgeglichen sind, ergibt sich infolge des Meereseinflusses auch eine hohe relative Luftfeuchtigkeit von durchschnittlich 80 %. Vorwiegend ist die Windrichtung Südwest mit Häufigkeiten zwischen 21 % und 29 % anzutreffen, der mit großem Abstand West und Nordwest folgen. Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge beträgt etwa 730 mm. Lediglich in der Region Greven-Nordwalde liegen die Werte zwischen 610 und 700 mm, da sich dieses Gebiet im Regenschatten befindet.

2.4. Gewässernetz

Die Westfälische Bucht wird unterteilt in die Einzugsbereiche von Ems, Rhein, Ijssel und Vechte. Es entspricht der Morphologie, daß die Wasserscheiden den Höhen folgen. Der Verlauf der Wasserscheiden innerhalb der Münsterländer Bucht wird wesentlich bestimmt durch das Kernmünsterland, das mit den Beckumer Höhen und den Billerbecker Höhen der Hauptordner des Gewässernetzes ist.

Die Flüsse und Bäche im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges gehören vorwiegend zum Stromgebiet der Ems. Eine Ausnahme bildet die Vechte mit ihren Nebenflüssen, die direkt zur Zuider-See entwässert. Der Kiessandzug läuft etwa parallel der Wasserscheide Ems-Vechte, die sich etwa von der Bauernschaft Landersum über Neuenkirchen bis Billerbeck hinzieht, wo sich diese Wasserscheide mit derjenigen von Rhein und Ijssel schneidet (Gewässerbezeichnung und Flächenverzeichnis der Gewässer in Nordrhein-Westfalen: Landesanstalt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, 1975).

Die Ems ist die wichtigste hydrographische Einheit, die etwa im Streichen des Teutoburger Waldes fließt. Unter den linksseitigen Nebenläufen überwiegt die SW-NE-Richtung im gesamten Bereich von Münster bis zur Niedersächsischen Grenze, der dann die S-N- bzw. SE-NW-Richtungen im Arbeitsbereich südöstlich von Münster folgen. Im Bereich südöstlich von Münster ist die Werse mit ihren Zuflüssen der einzig nennenswerte Nebenfluß der Ems. Der Dortmund-Ems-Kanal bildet eine künstliche Wasserscheide zwischen dem Gebiet der Werse und der Münsterschen Aa. Der Einzugsbereich der Münsterschen Aa umfaßt hauptsächlich den Südost-Hang des Altenberger Höhenzuges. Dieser Höhenzug bildet gleichzeitig die Wasserscheide Ems-Vechte/Rhein. Die von dieser Wasserscheide nach NE entwässernden Bäche wie Temmings-Mühlen-Bach, Mühlenbach und Frischhofsbach mit ihren seitlichen Zuflüssen schneiden den Kiessandzug etwa senkrecht zu dessen Streichrichtung.

2.5 Kommunale Gliederung, Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftsstruktur

Der Bearbeitungsraum umfaßt nur den Teil des Münsterländer Kiessandzuges, der sich innerhalb der Landesgrenzen von Nordrhein-Westfalen befindet. Er umfaßt Teile des Kreises Steinfurt, der Stadt Münster und des Kreises Warendorf, die ausnahmslos zum Regierungsbezirk Münster gehören. Abb. 2 zeigt die Lage des Bearbeitungsraumes innerhalb der Kreis- und Gemeindegrenzen vom 1.1.1975.

Bevölkerungsentwicklung

In Tab.12 sind die wichtigsten Werte der Bevölkerungsentwicklung des durch den Untersuchungsraum versorgten Gebietes zusammengestellt. Die Änderungen der Gebietsreform vom 1.1.1975 sind berücksichtigt.

Die Gemeinden des Kreises Steinfurt haben mit Ausnahme von Altenberge ihre Bevölkerung seit 1871 mehr als verdoppelt. In einem ganz besonderen Maße trat die Stadt Rheine hervor, die 1969 über zehnmal soviel Einwohner aufwies als 1871. Ähnlich verhält sich die Bevölkerungsentwicklung bei der Stadt Münster, die aber wegen des Krieges und seiner Folgen in den Jahren 1939 - 1946 einen Bevölkerungsrückgang zu verzeichnen hatte. Die Bevölkerungsentwicklung der Stadt Sendenhorst (Kreis Warendorf) verlief etwa im Durchschnitt der Entwicklung der Städte gleicher Größen im Kreis Steinfurt. Die Abb.29a - b zeigen die Entwicklung der Bevölkerungszunahme von 1900 bis 1975. Unregelmäßigkeiten im Kurvenverlauf in den letzten Jahren sind auf Neugliederungen zurückzuführen. Dadurch wird der wahre Entwicklungsgang teilweise sehr stark verschleiert. Allgemein kann zur Bevölkerungszunahme gesagt werden, daß sie sich stetig, aber in den letzten Jahren verlangsamt weiterentwickelt hat. Auch bei einer relativ langen Vergangenheits-Zeitreihe wäre eine Vorhersage der Weiterentwicklung mit sehr großen Unsicherheiten verbunden, da sich die soziologischen, wirtschaftlichen und technologischen Entwicklungen innerhalb einer großen Zeitspanne in den meisten Fällen kaum abschätzen lassen.

Wirtschaftsstruktur

Für die regionale Wirtschaftsstruktur ist neben dem Industrialisierungsgrad besonders die Zusammensetzung der Wirtschaftsbereiche von großer Bedeutung. Der potentielle Anteil der Erwerbspersonen in der Landwirtschaft tritt gegenüber dem Landesdurchschnitt stark hervor. Auf das produzierende Gewerbe entfällt der Hauptanteil, der mit seinem Schwerpunkt in den Städten zu finden ist. Die folgende Kurzbeschreibung umfaßt den Münsterländer Kiessandzug und seinen weiteren Randbereich, das heißt einschließlich der Regionen, für die der Kiessandzug wasserwirtschaftlich von Bedeutung ist.

In der *Land- und Forstwirtschaft* bestimmen Boden, Klima und die Beziehung zum Markt die Betriebsweise. Die Dauergrünlandsnutzung nimmt einen sehr großen Anteil ein. Dies führt zu einer ausgedehnten Rinderhaltung, die

sowohl auf Milchproduktion als auch auf Mast abgestellt ist. Ein weiterer Schwerpunkt der tierischen Veredelungsproduktion ist die Schweinehaltung, der die Geflügelproduktion folgt. Im Geländeanbau spielt hauptsächlich der anspruchslose Roggen eine Rolle. Der Arbeitsbereich ist allgemein wie der größte Teil des Westmünsterlandes durch eine klein- bis mittelbäuerliche Betriebsstruktur gekennzeichnet. Die Gesamtwaldfläche des Münsterländer Kiessandzuges zeigt aufgrund der nährstoffarmen Podsolböden einen Oberhang an Nadelgehölzen, von denen die Kiefer am weitesten verbreitet ist.

Die Untersuchung der *Industrie- und Gewerbestruktur* ist erforderlich, da eine Auswertung, zumindest aber eine Vorstellung der Situation, eine wesentliche Grundlage für die Bestimmung und Beurteilung des künftigen Wasserbedarfs liefert. Kennzeichnend für die Industrie sind die Ballungsschwerpunkte Rheine, Emsdetten, Greven und Münster. Die höchste Beschäftigungsquote verzeichnet die Leder-, Textil- und Bekleidungsindustrie. Speziell die Textilindustrie ist auch bestimmend für die industrielle Struktur. Einbußen der industriellen Beschäftigung in den letzten Jahren sind zum überwiegenden Teil auf die anhaltende Konjunkturkrise dieses Industriezweiges zurückzuführen. Zunahmen bei den übrigen Industriezweigen wie Bekleidungsindustrie, Stahl- und Leichtmetallbau, Chemische Industrie, Nahrungs- und Genußmittelindustrie, um nur die wichtigsten zu nennen, konnten noch keinen Ausgleich schaffen.

3. WASSERDARGEBOT

3.1. Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt als zahlenmäßige Festlegung des Wasserkreislaufes wird entweder für großräumige Gebiete oder für einzelne Flußgebiete aufgestellt. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Haushaltsgrößen ergeben sich aus der Grundgleichung des Wasserhaushaltes. Die Berechnung der Haushaltsgrößen wird dadurch erschwert, daß sie Funktionen von Variablen sind, die im einzelnen nur teilweise durch Messungen erfaßt werden können.

Der Wasserhaushalt eines Gebietes wird für die Gebietsoberfläche und den darunter liegenden Bodenraum untersucht, soweit dieser vom Wasser erfüllt ist, das an dem Kreislauf teilnimmt. Er läßt sich quantitativ für ein Einzugsgebiet durch die Bilanz der Wassereinnahmen und -ausgaben darstellen. Es gelten die allgemeinen Formeln:

$$N = A + V \quad \text{und} \quad A = A_o + A_u$$

wobei N = Niederschlag, A = Gesamtabfluß, A_o = Oberflächenabfluß, A_u = Unterirdischer Abfluß und V = Verdunstung bedeuten.

Die Darstellung des Wasserkreislaufes kann in dieser allgemeinen Form aber nur für große Zeiträume gelten. Nur in solchen können sich Überschuß und Defizit einzelner Jahre hinreichend ausgleichen und damit zur vollständigen Lösung der Gleichungen führen. Die zahlenmäßige Erfassung der Abflußvorgänge im Boden folgt in erster Linie aus der Beobachtung und Auswertung der Abflußvorgänge der oberirdischen Gewässer, aus deren Kenntnis und Analyse dann weitere Rückschlüsse gezogen werden können.

Die *Niederschlagsverhältnisse* im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges wurden im Abschnitt 2.3. beschrieben. Aus diesen Werten wurde für die einzelnen Teilgebiete der mittlere Gebietsniederschlag (N_m) nach der Vieleckmethode mittels linearer Interpolation ermittelt. Die Formel für die Vieleckmethode lautet:

$$N_m = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

wobei N_i = Niederschlagshöhe der i-ten Meßstelle in mm und F_i = Teilfläche der i-ten Meßstelle in km^2 bedeutet.

Oberirdischer Abfluß

Wie in den folgenden Kapitel noch näher erläutert wird, muß bei Betrachtung des Abflusses (A) eine Trennung nach Herkunft und Erscheinungsform erfolgen. Die Niederschläge, die den Abfluß speisen, laufen zum Teil oberflächlich ab, sammeln sich in Rinnsalen und fließen dem Hauptvorfluter zu. Andererseits versickert ein bedeutender Teil von ihnen zunächst im Boden und gelangt, soweit er nicht von der Verdunstung (V) aufgezehrt

wird, auf dem Wege über das Grundwasser in die Flüsse. Erhebliche Schwierigkeiten bereitet die Messung der Größen A_0 und A_U der Wasserhaushaltsgleichung. Messungen des oberirdischen Abflusses wurden in Deutschland wegen der damit verbundenen technischen Schwierigkeiten nur sehr selten durchgeführt. Anders dagegen in der CSSR und in den USA, wo man bereits empirische Formeln entwickelt hat (DVORAK 1950). Voraussetzung für eine Bestimmung des oberirdischen Abflusses (A_0) ist die Kenntnis des Gesamtabflusses (A), die sich aus den Beobachtungen der Pegelstände in den Wasserläufen in Verbindung mit den Querschnitten derselben errechnen läßt. Im Bearbeitungsraum standen keine Pegel zur Verfügung, aus deren Abflußganglinien es — z.B. nach NATERMANN (1958) — möglich gewesen wäre, eine Aufspaltung von A in A_0 und A_U vorzunehmen.

Nach Beobachtungen im Gelände bei Starkregen kann man den oberirdischen Abfluß im engeren Bereich des Münsterländer Kiessandzuges annähernd Null setzen, was letztlich auch aufgrund der geologischen Verhältnisse verständlich ist. Für den weiteren Einzugsbereich des Kiessandzuges gibt SCHNELL (1955) eine mittlere jährliche Gesamtabflußspende für den Zeitraum 1931/50 von etwa $8 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ an.

Unterirdischer Abfluß

Der Gewinnung von Grundwasser sind Grenzen gesetzt. Auf lange Sicht darf daher die Grundwasserentnahme die mittlere Grundwasserneubildung nicht übersteigen. Die Niedrigwasserabflüsse (Trockenwetterabflüsse) sind als Maß für das Grundwasserdargebot anzusehen. Eine unmittelbare Beobachtung der Grundwasserstände allein läßt im allgemeinen keine ausreichenden Schlüsse über den unterirdischen Abfluß eines Gebietes zu. Die Ermittlung der Trockenwetterabflüsse und deren Analyse ist daher für die Wasserwirtschaft von besonderem Interesse, da in der Regel die Wassermengen, welche die Vorfluter nach längerem, an Niederschlägen armen bzw. freien Zeiten führen, ganz dem Grundwasser entstammen. Die Niedrigwasserabflußmengen geben ein brauchbares Maß für den unteren Grenzwert der Grundwassererneuerung oder Grundwasserneubildung ab. Als Bezugsfläche muß für die unterirdische Abflußspende das Einzugsgebiet F_E genommen werden, dessen Ermittlung nicht selten erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Die Festsetzung einer unteren Grenze der Grundwasserspense kann verhältnismäßig einfach erfolgen, indem während einer größeren Trockenperiode Abflußmessungen an hydrogeologisch aufschlußreichen Stellen durchgeführt werden. Nach dem Differenzenverfahren wird aus dem Niederschlagsgebiet F_N und dem zugehörigen Teilabfluß NQ , der aus der Differenz der ober- und unterhalb von F_N durchgeführten Abflußmessungen gebildet wird, der Zuwachs der Abflußspende erhalten, die annähernd der minimalen Grundwasserneubildung entspricht:

$$\min q_U \text{ (l/s km}^2\text{)} = \frac{NQ \text{ (l/s)}}{F_N \text{ (km}^2\text{)}}$$

Verdunstung

In der Hydrologie versteht man unter Verdunstung die Dampfmenge, ausgedrückt als Verdunstungsmenge V in mm, die in die Atmosphäre übergeht und dort abtransportiert wird. In die Wasserbilanz geht die Verdunstung als Verlustgröße ein. Bei Ermittlung der Verdunstungsgröße muß unterschieden werden in:

- a) potentielle Verdunstung
- b) aktuelle Verdunstung.

Die potentielle Verdunstung ist die unter gegebenen Umweltsbedingungen (Temperatur, Sättigungsdefizit der Luft, Windeinfluß etc.) von einer freien Wasserfläche abgegebene dampfförmige Wassermenge. Sie läßt sich mittels verschiedener Verfahren bestimmen, die aber alle mit großen Fehlern behaftet sind. PENMAN (1948) stellt eine Lösung des Problems der Evaporationsberechnung vor, die bis heute, falls die erforderlichen Eingabewerte vorliegen, als die beste anzusehen ist. Die nach PENMAN berechenbare potentielle Verdunstung (E) gilt strenggenommen nur für freie Wasserflächen (KELLER 1961, PENMAN 1963, WESSELING 1960). Sie setzt sich aus den Parametern Energieumsatz und Dampftransport zusammen:

$$E = \frac{\Delta H + \gamma \cdot Ea}{\Delta + \gamma}$$

wobei E = Verdunstungshöhe in mm, Δ = Steigung der Sättigungsdampfcurve, Ea = Dampftransportkoeffizient, H = Verdunstungshöhe aus der Strahlungsbilanz über einen Tag und $\gamma = 0,61 \frac{\text{mbar}}{\text{C}^\circ}$ bedeuten.

Nach dem Penman-Verfahren wurde für den Zeitraum 1966-1977 die potentielle Verdunstung ermittelt (s. Tab. 13). Der Standort der Meßgeräte befindet sich an der Lysimeteranlage nahe dem Ort St.-Arnold.

Die aktuelle Verdunstung ist der tatsächliche Wasserverlust eines bewachsenen Bodens durch Verdampfung. Er wird im Lysimeter ermittelt. Auf dem Münsterländer Kiessandzug steht nahe dem Ort St.-Arnold eine Großlysimeteranlage einschließlich "Wettergarten", wo sämtliche Voraussetzungen vorhanden sind, um sowohl die potentielle als auch die aktuelle Verdunstung bestimmen zu können. Eine Beschreibung der gesamten Anlage gibt SCHRÖDER (1975).

3.2. Grundwasserneubildung

Zur Ermittlung der Grundwasserbilanz werden die Meßergebnisse des in St.-Arnold betriebenen Lysimeters herangezogen. Sie gestatten, die Grundwasser-Neubildungsrate unter Flächen unterschiedlicher Nutzung zu differenzieren. Weiterhin wurden während des trockeneren Sommers 1976 Niedrigwasser-Abflußmessungen am Temmings-Mühlenbach (s. Abb. 3b) durchgeführt.

3.2.1. Ermittlung der Grundwasserneubildung aus Lysimetermessungen für das gesamte Arbeitsgebiet

Die in St.-Arnold zur Verfügung stehenden, nicht wägbaren Lysimeter weisen eine ununterbrochene Jahresreihe von 11 Jahren auf, die es gestattet, direkt den mittleren langjährigen Sickerwasserabfluß zu bestimmen. Durch Anwendung der Wasserhaushaltgleichung kann (mit Einschränkung) die aktuelle Verdunstung errechnet werden:

$$N = A + (R - B).$$

Aus dieser Formel folgt die vereinfachte Lysimetergleichung:

$$N = S + U, \text{ in welcher } S \text{ den Sickerwasserabfluß und } U \text{ den Unterschiedsbetrag zum Niederschlag (N) darstellt.}$$

Da man von der Annahme ausgehen kann, daß die Bodenwasservorratsänderung im langjährigen Mittel zu vernachlässigen ist, kann man den Unterschiedsbetrag (U) gleich der Verdunstung (V) setzen. Die Tab.14 verdeutlicht das Übergewicht der Niederschläge im Sommerhalbjahr mit einem Minimum an Sickerwasserabfluß. Das Maximum der Versickerung liegt im Winter und im Frühjahr. Aus dem jahreszeitlich unterschiedlichen Rhythmus ist zu entnehmen, daß auch langjährige Mittelwerte der monatlichen Unterschiedsbeträge zwischen Niederschlags- und Sickerwassermenge nicht ohne weiteres als mittlere Monatswerte der aktuellen Verdunstung gleichgesetzt werden dürfen. Das regelmäßige sommerliche Bodenwasserdefizit (B) resultierend aus Pflanzenverdunstung etc. muß im Herbst erst durch die Niederschläge als Rücklage (R) wieder bis zur Feldkapazität aufgefüllt werden, bevor ein Sickerwasservorgang wieder in Erscheinung tritt. Die vom Staatlichen Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft Münster zur Verfügung gestellten Einzelmeßwerte der Lysimeter-Anlage St.-Arnold haben natürlich nur punktuelle Bedeutung, da zwischen Sickerwassermenge und Niederschlagshöhe eine Wechselbeziehung besteht.

Durch die Regressionsanalyse kann im vorliegenden Fall nicht nur eine Beziehung zwischen einer abhängigen Zielgröße (N) und einer unabhängigen Einflußgröße (S) in Form einer mathematischen Gleichung erhalten werden, sondern die Ergebnisse der Rechenoperationen, die jeweils eine Gerade darstellen, gestatten es, daß man jeder beliebigen Niederschlagsmenge, soweit klimatologisch vertretbar, eine entsprechende Sickerwassermenge zuordnen kann.

In den folgenden Abbildungen 30a - c sind die Ergebnisse der Regressionsrechnungen dargestellt. An dieser Stelle darf nicht unerwähnt bleiben, daß Grünland und Eichen-/Buchenbestand am meisten Sickerwasser liefern, während der Kiefernbestand die geringste Menge aufweist. SCHRÖDER (1975) deutet die Sickerwasserdifferenz als Einfluß des Aufwuchses. Besonders problematisch stellt sich die Festlegung der Grundwasserneubildungsrate für Siedlungsflächen dar. Die zugrunde gelegten Werte tragen der Besiedlungsdichte Rechnung und beruhen auf Schätzungen. Zur besseren Übersicht wird das Gebiet des Münsterländer Kiessandzuges in sechs Teilgebiete unterteilt. Sie werden durch Teilniederschlagsgebiete voneinander getrennt und weisen für die Ermittlung des Grundwasserdargebotes die in den Tab.15-16 dargestellten Parameter auf. Die Ergebnisse der angestellten Ermittlungen folgen aus den Tab.17-18.

3.2.2. Ergebnisse von Trockenwetter-Abflußmessungen am Temmings-Mühlenbach

Wie im Abschnitt "Unterirdischer Abfluß" beschrieben, wurden an diesem Vorfluter — der den Kiessandzug etwa senkrecht zum Streichen schneidet — Trockenwetterabflußmessungen durchgeführt. Der Abflußzuwachs, der als Hilfsmittel bei der Beurteilung von Wassererschließungsmöglichkeiten angesehen werden kann, erbrachte Zuwachsspenden, die in Tab.19 aufgeführt sind.

Bei einem Vergleich der Niederschlagskurven während des Meßzeitraumes mit den Ganglinien der Brunnen des Landesgrundwasserdienstes VII/14 - 16 kann davon ausgegangen werden, daß im Untersuchungszeitraum keine nennenswerte Grundwasserneubildung zu verzeichnen war. Die obigen Abflußmeßwerte stellen daher den Grundwasserabfluß dar. Die sich daraus abzeichnende Trockenwetter-Falllinie kann näherungsweise durch eine e-Funktion der Form

$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$ beschrieben werden, wobei

Q_t = Abfluß zur Zeit t , Q_0 = Abfluß zur Zeit $t = t_0 = 0$, t = Zeit, α = Konstante und e = Euler'sche Zahl bedeuten (s.a. WEYER 1972 und RICHTER 1974).

Mit diesen Daten könnte theoretisch nicht nur eine Vorratsberechnung durchgeführt werden, sondern es wäre auch die Möglichkeit gegeben, die freie abflußfähige Grundwassermenge zu ermitteln. Auf die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen soll nicht weiter eingegangen werden, denn sie erweisen sich als zu wirklichkeitsfern. Als Hauptfehlerquellen können folgende Punkte aufgeführt werden:

- a) obwohl bei diesem Gewässer der Gesamteindruck besteht, daß das Bachbett zumindest bei Niedrigwasser abgedichtet ist, scheinen doch Infiltrationsvorgänge möglich zu sein.
- b) während des Meßzeitraumes war das Gewässer teilweise stark verkrautet, was die gemessenen Abflußmengen (Meßgerät: Ottflügel) trotz Korrektur (Auswertung durch Datenverarbeitung) verfälschte
- c) wie in anderen Abschnitten schon erwähnt, konnte ein großes hydrogeologisches Problem im Münsterländer Kiessandzug, nämlich die Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes und damit die nicht erfaßbare Komponente des Fremdwasserzustromes mangels Daten nicht exakt gelöst werden.

3.3. Jahresgang des Grundwassers und seine Vorratsschwankungen

Die Form einer Grundwasserganglinie ist das Ergebnis der Beeinflussung durch verschiedene Faktoren, die sich teilweise überlagern können. Als Einwirkung auf den Wasserstand kommen bei Grundwasserleitern mit freiem Grundwasserspiegel in erster Linie klimatische Veränderungen oder künstliche Eingriffe in Frage. Im Münsterländer Kiessandzug werden vom Landesgrundwasserdienst 35 Meßstellen unterhalten (s. Abb. 31). Gegenstand der folgenden Betrachtung sollen 8 Meßstellen sein, die als weitgehend unbeeinflußt angesehen werden können.

KOEHNE (1948:75-78) unterscheidet einen ozeanischen Grundwassertyp (Grundwasserhöchststände etwa im Januar) und einen kontinentalen Typ (Grundwasserhöchststände infolge Eis- und Schneebildung erst im April/Mai), die er aus den klimatischen Verhältnissen ableitet. Die Ganglinien der Brunnen im Münsterländer Kiessandzug können keinem der KOEHN'schen Typen zugeordnet werden. Sie nehmen — wie auch aufgrund der Ausführungen im Abschnitt "Klimatologie" zu erwarten war — eine Zwischenstellung ein, jedoch mit deutlicher Tendenz zum ozeanischen Typ. Nach den Grundwasserrichtlinien (GRUNDWASSERAUSSCHUSS 1961) erfolgt die Messung der Brunnen einmal wöchentlich. Diese wöchentlichen Messungen lassen nur die wesentlichen Züge des natürlichen Grundwasserstandes erkennen. EINSELE (1975), BAUMANN (1965) u.a. beschreiben eine gesetzmäßige Abhängigkeit der Höhenlage, der Amplitude und zum Teil auch der Schwankungsperiode der Grundwasserganglinien von der Lage bzw. der Entfernung vom Vorfluter. Solche Feststellungen sind aber nur exakt zu belegen, wenn die Grundwasserstände täglich gemessen werden, oder noch besser, wenn die jeweiligen Beobachtungsrohre mit einer Schreiberanlage versehen sind.

Der Verlauf der Grundwasserstände gibt für sich allein noch keinen Hinweis auf die Menge des Grundwassers. Auch die Verwendung solcher Ganglinien als Repräsentationswerte für prognostische Berechnungen ist als fragwürdig einzustufen. Langjährige Beobachtungen können jedoch eine gute Übersicht der Schwankungen des Grundwasservorrates vermitteln. In Abb. 32 wurden von den ausgewählten Brunnen jeweils die langjährigen Mittel der monatlichen Grundwasserstände zum mittleren Jahresgang aufgetragen. Daraus geht hervor, ob ein bestimmter Grundwasserstand einer überdurchschnittlich trockenen oder nassen Periode entspricht. Den mittleren jährlichen Ganglinien, die den Zeitraum seit Beginn der Meßreihe umfassen (durchschnittlich etwa 25 Jahre) wurde vergleichsweise das Mittel der Wasserwirtschaftsjahre 1972 - 1976 gegenübergestellt. Das Ergebnis stellt sich in Form eines Defizites dar. Für die Wasserwirtschaft heißt das, daß die Wasserwerke (ohne künstliche Grundwasseranreicherung) bereits aus den Rücklagen fördern. Das bedeutet, daß der angestrebte Zustand, Fördermenge = Grundwasserneubildung, nicht mehr eingehalten wird.

3.2.4. Grundwasserhöhengleichen

Die Abb.31 zeigt den Verlauf der Grundwassergleichen im gesamten Untersuchungsgebiet nach dem Stand von 1963. Für das Jahr 1973 ist z.Zt. ein Grundwasserhöhengleichenplan bei der Landesanstalt für Wasser und Abfall NW in Bearbeitung. Obwohl der Münsterländer Kiessandzug als annähernd homogener Grundwasserträger aufgefaßt werden kann, muß die Genauigkeit eines solchen Planes in Frage gestellt werden. Die wesentlichen Gründe folgen aus dem nicht erfaßbaren Einfluß der Wasserwerke und eines im nordöstlichen Randbereich zu weitmaschig und nicht optimal angelegten Beobachtungssystems (s. Abb.31). Die Interpretation der tatsächlichen Verhältnisse ist daher sehr schwierig, wenn nicht unmöglich.

Das zeigt auch ein hydrologisches Profil (s. Abb.32), das für die Jahre 1959, 1963, 1966, 1971 und 1973 erstellt wurde. Der Profilplan berücksichtigt sämtliche Daten der Brunnen des Landesgrundwasserdienstes und des Meßstellennetzes der Wasserwerke.

Fließrichtung und Gefälle des Grundwassers

Nach dem Höhengleichenplan von 1963 scheint sich der Grundwasserspiegel etwa der Geländemorphologie anzupassen. Da sich die Fließrichtung des Grundwassers stets senkrecht zu den Grundwassergleichen einstellt, ergibt sich im Bearbeitungsgebiet im natürlichen Zustand (ohne Grundwasserförderung) von Sendenhorst bis Neuenkirchen ein Abstrom zur Ems, während der anschließende Raum bis zur Niedersächsischen Grenze dagegen direkt zur Vechte entwässert. Daraus wäre zu folgern, daß die Kiessandrinne zumindest im Bereich zwischen Neuenkirchen und Sendenhorst vom Grundwasser durchströmt wird, obwohl in einigen Bereichen auf Grund einiger Schwellenstrukturen zwischen Kiessand- und Emsrinne sich ein Drainageeffekt anbieten würde. Im natürlichen Zustand haben die den Kiessandzug schneidenden Vorfluter alle Grundwasserzufluß von den "Talflanken" erhalten. Heute ist der Grundwasserspiegel bei einigen Bächen, wo Grundwasser gefördert wird (Wasserwerke), unter die Talsohle abgesenkt, so daß diese Bäche temporär bedingt auf den betreffenden Strecken teilweise kein seitlich zuströmendes Grundwasser mehr aufnehmen. Je nach Beschaffenheit des Fluß- bzw. Bachbettes kann das z.B. zur Folge haben, daß der Vorfluter an den Kiessandzug Wasser abgibt. Solch ein Infiltrationseffekt ist am wahrscheinlichsten bei Wasserständen über Mittelwasser (z.B. Kinderbach, Nienberger-Bach u.a.). Das Gefälle des Grundwassers schwankt beträchtlich (vgl. Grundwasserhöhenplan für 1963). Für Gefälleschwankungen kommen verschiedene Ursachen in Betracht. Geringes Gefälle weist im allgemeinen auf gute Durchlässigkeit des Grundwasserträgers hin, sei es durch grobes Korn oder durch intensive Klüftung. Steiles Gefälle charakterisiert im natürlichen Zustand schlechte Durchlässigkeiten, aber teilweise auch unvollkommene Stauhohizonte. Im Bereich starker Absenkung ist das Grundwassergefälle primär eine Funktion der Fördermenge. Schließlich seien noch als Beeinflussungskriterien die Mächtigkeit des Aquifers und die Morphologie des darunter liegenden Stauhohizontes erwähnt.

Unterirdische Wasserscheiden

Grundlage jeder Festsetzung von unterirdischen Wasserscheiden bzw. Einzugsgebieten sind exakte Grundwassergleichenpläne, deren Kenntnis z.B. für die Berechnung der Grundwasserneubildung von wesentlicher Bedeutung ist. Aus den obigen Feststellungen ist u.a. zu folgern, daß es unmöglich ist, die unterirdischen Wasserscheiden nach ihrer Ordnung zu untergliedern, denn der Einfluß der Wasserwerke auf den weiteren Einzugsbereich des Kiessandzuges ist mit den vorhandenen Meßstellen nicht zu erfassen. Als grober Anhalt können nur die oberirdischen Einzugsgebiete angenommen werden.

3.5. Durchlässigkeitsbeiwerte

Für die Erfassung der hydraulischen Verhältnisse besitzt die Durchlässigkeit des Aquifers als bodenphysikalische Kenngröße ausschlaggebende Bedeutung. Die Durchlässigkeit (k_f) ist ein Faktor, der die Leistungsfähigkeit und damit die Wirtschaftlichkeit einer Wassergewinnungsanlage entscheidend mitbestimmt. Eine Bestimmung des k_f -Wertes kann vorgenommen werden durch die Untersuchung ungestörter Bodenproben im Labor, durch Pumpversuche, Tracerversuche oder durch Berechnung mit Hilfe der Siebkurven des Bodenmaterials. Im Münsterländer Kiessandzug standen zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes die Siebkurven von etwa 30 Bohrungen des Landesgrundwasserdienstes, drei Tracerversuche (BOLSENKÖTTER 1974, KOCH & SUCHAN 1975, 1976) und einige Pumpversuche zur Verfügung. Da die Tracerversuche nur punktuelle Bedeutung haben, wurde aus den Sieblinien, die leider nicht immer vollständig waren, die k_f -Werte nach BEYER (1964:168) ermittelt und für die Teilgebiete

zusammengestellt (s. Abb.34). Die Kumulierung der kf-Werte soll eine Vorstellung der mittleren Durchlässigkeiten ergeben, denen die Ergebnisse der Tracerversuche gegenübergestellt wurden. Eine Auswertung der Pumpversuche war aus technischen Gründen nicht möglich.

4. WASSERVERSORGUNG

Die ersten zentralen Wasserversorgungsanlagen im Münsterländer Kiessandzug wurden etwa zu Ende des vorigen Jahrhunderts in Betrieb genommen. Heute verfügt jede Gemeinde bzw. Stadt im Versorgungsraum des Kiessandzuges entweder über eine zentrale Wasserversorgung oder sie ist an eine Gruppenwasserversorgung angeschlossen. Ausnahmen bilden einzelne Gehöfte und auch Betriebe, die im Besitz eigener Brunnen sind. Die Entwicklung darf damit aber noch lange nicht als abgeschlossen angesehen werden. Ein Teil der vorhandenen Anlagen muß voraussichtlich noch erweitert werden, um den Erfordernissen gerecht zu werden.

Durch den steigenden Verbrauch an Trink- und Brauchwasser reichte bei dem Großteil der Gemeinden und Städte die Wasserversorgung mengenmäßig nicht mehr aus, so daß das Grundwasserdargebot durch Infiltration von Oberflächenwasser erhöht werden mußte. Die Stadt Münster bezieht seit 1958 über eine Fernleitung Wasser von der Gelsenwasser AG aus Haltern.

4.1. Wassergewinnung

Nach der Herkunft des Wassers sind grundsätzlich zwei Dargebotsarten zu unterscheiden:

- a) Grundwasser (einschließlich Infiltrat)
- b) Oberflächenwasser.

Das aus dem Kiessandzug kommende Wasser ist ausnahmslos der Gruppe a) zuzuordnen. Die Wasserversorgung der einzelnen Städte bzw. Gemeinden aus dem Münsterländer Kiessandzug kann allgemein nicht als optimal angesehen werden, denn Angebot und Nachfrage stehen in einem ungünstigen Verhältnis, obwohl dem durch geeignete Maßnahmen weitgehend abgeholfen werden könnte. Als Beispiele seien hier nur kurz aufgeführt: der Ausschluß der Gemeinden Nordwalde und Altenberge aus der Gruppenwasserversorgung des Wasserwerkes Borghorst-Burgsteinfurt GmbH und die Notwendigkeit, daß die Stadt Münster z.Zt. etwa 25 - 30 % ihres Wasserbedarfes von der Gelsenwasser AG beziehen muß. In Zukunft könnten durch Baumaßnahmen jeder Art und nicht zuletzt durch weitere Abgrabungen im Kiessandzug einer Expansion der Wassergewinnung noch weitere Grenzen gesetzt werden. Damit ist die Ausweisung von Wasserschutzgebieten in dem Maße, wie es die Untergrundverhältnisse erfordern, nicht mehr möglich. Die Gesamtentwicklung der Wasserförderung einschließlich der Infiltration von Oberflächenwasser geht aus der Tab.20 und den Abb.35 - 39 hervor.

4.2. Wasserschutzgebiete

Der Festsetzung von Wasserschutzgebieten kommt für die Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung entscheidende Bedeutung zu. Diesen Schutz zu erreichen wird in dem Maße schwieriger, in dem Besiedlung, Industrialisierung und infrastrukturelle Maßnahmen eine Gefährdung der Grundwasservorkommen darstellen. Daher gehört diesen Vorkommen der entsprechende Schutz, vor allem dann, wenn sie der öffentlichen Wasserversorgung dienen. Den Stand der Schutzgebietsverfahren der im Münsterländer Kiessandzug gelegenen Wasserwerke zeigt Tab.21, die Abgrenzung der einzelnen Schutzzonen ist aus der Abb.31 ersichtlich.

Aus dieser Karte und der Darstellung aller Abgrabungen ist ersichtlich, daß trotz der Festsetzung von Wasserschutzgebieten aus hydrogeologischer Sicht kein optimaler Schutz des Grundwassers gewährleistet werden kann (s. Abb.31 u. Abb.40). Das Hauptproblem liegt primär in der Festlegung der "50-Tage-Grenze" (Schutzzone II). Wie aus dem Abschnitt 3.5.0. zu ersehen ist, wurden teilweise die 50-Tage-Grenzen durch Tracerversuche nachgeprüft und auch festgelegt (BOLSENKÜTTER 1975, KOCH 1974, 1976). Man geht dabei davon aus, daß das Grundwasser nach 50 Tagen Aufenthalt im Untergrund im allgemeinen keimfrei gefördert werden kann. Dies trifft jedoch nicht in jedem Falle zu.

Nach GOLWER, MATTHES & SCHNEIDER (1970:61-90) werden im Grundwasser gelöste Verunreinigungsstoffe haupt-

sächlich aufgrund folgender Vorgänge eliminiert:

- a) Verdünnung; durch versickerndes Niederschlagswasser oder Vermischung mit seitlich zusitzendem Grundwasser etc. werden Verunreinigungen im Unterstrom unter Umständen bis zur Unschädlichkeit verdünnt.
- b) Chemische Ausfällung; unter bestimmten Reduktions- und Oxidationsbedingungen werden besonders Eisen- und Manganverbindungen gelöst und ausgefällt.
- c) Adsorption und Ionenaustausch; Adsorption und Ionenaustausch spielen z.B. bei der Zurückhaltung von Schwermetallen, Pestiziden und besonders von radioaktiven Stoffen eine bedeutende Rolle.
- d) Mikrobieller Aufbau; nach STRUGGER (1962:54) gibt es kaum eine organische Verbindung, die nicht durch Bakterien abgebaut oder zersetzt werden kann. Der mikrobiologische Abbau verläuft überwiegend in Form bakteriell gesteuerter Oxydationsprozesse. Der Sauerstoffbedarf für die Oxydation wird im aeroben Milieu aus dem im Wasser gelösten Sauerstoff gedeckt, im aeroben Bereich aus dem Sauerstoff der an Ionen gebunden ist (z.B. Nitrate, Sulfate). Bei völliger Abwesenheit von Sauerstoff oder sauerstoffhaltigen Ionen findet im Grundwasser kein oder nur ein sehr langsamer Abbau von Verunreinigungen statt. Das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Selbstreinigung hängen außer von der Ausgangsbelastung durch die Verunreinigungsstoffe auch sehr stark vom Sauerstoffgehalt im Grundwasser ab.

Aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse im Kiessandzug ist es möglich, daß bei Verunreinigungen der Sauerstoff-Nachschub nicht mehr ausreicht und so eine Selbstreinigung des Grundwassers stark verzögert wird, so daß die festgelegten Fließwege, die aus den Schutzzonen abzuleiten sind, nicht mehr ausreichen, um die Reinigung abzuschließen. Einzelne, in das Grundwasser des Kiessandzuges gelangende Verunreinigungen dürften im allgemeinen keine Gefahr für die Wassergewinnungsanlagen darstellen. Erst bei Summierung sind ernste Gefährdungen zu befürchten. Um die Belastbarkeit des Untergrundes möglichst genau bestimmen zu können, sind besonders die bestehenden Vorbelastungen und der Sauerstoffgehalt des Grundwassers von grundlegender Bedeutung. Eine Festsetzung der oftmals strittigen Schutzzone I I a l l e i n n a c h d e n z u r Z e i t ü b l i c h e n V e r f a h r e n i s t i m K i e s s a n d z u g b e d e n k l i c h .

5. WASSERBEDARF DER BEVÖLKERUNG UND DER INDUSTRIE

Der Wasserbedarf der Trink- und Betriebswasserversorgung steht in enger Beziehung zur wirtschaftlichen Struktur und Soziogeographie des jeweiligen Verbraucherkreises. Der Gesamtbedarf eines Versorgungsgebietes setzt sich aus folgenden Parametern zusammen:

- a) Bedarf der Bevölkerung (einschließlich des Kleingewerbes) sowie öffentlicher Bedarf.
- b) Bedarf des Großgewerbes und der Industrie, soweit diese sich nicht aus Eigenanlagen versorgen.
- c) Eigenbedarf des Wasserwerkes und unvermeidliche Verluste.
- d) Löschwasserbedarf.

Eine genaue Aufschlüsselung des Wasserbedarfs ist mit großen Schwierigkeiten verbunden, da die notwendigen Voraussetzungen nur selten vorhanden sind. Der Verbrauch des Kleingewerbes läßt sich vom eigentlichen Haushaltverbrauch nicht abtrennen, da die Messungen nur summarisch durch Grundstückswasserzähler erfolgen. Auch sind von einzelnen Versorgungsbetrieben die entsprechenden Fragebögen, auf denen zum Teil diese Ermittlungen beruhen, unvollständig und fehlerhaft ausgefüllt worden. U m g l i e d e r u n g e n i n n e r h a l b d e r l e t z t e n 2 0 J a h r e , e i n s c h l i e ß l i c h d e r G e b i e t s r e f o r m v o m 1 . 1 . 1 9 7 5 , m a c h t e n d a s G e s a m t b i l d f ü r d i e V e r w a l t u n g n i c h t t r a n s p a r e n t e r , w o r a u f a u c h z u m T e i l d i e a n g e f ü h r t e n M ä n g e l z u r ü c k z u f ü h r e n s i n d . Der Wasserbedarf für die einzelnen Jahre wurde für die Gruppe Industrie und für die Gruppe Haushalte (einschließlich dem Kleingewerbe) ermittelt. Hier sei noch auf eine weitere Fehlerquelle hingewiesen, da zahlreiche Privatabnehmer trotz der zentralen Wasserversorgung aus eigenen Brunnen fördern. Eine weitere Aufschlüsselung des Bedarfes konnte nicht durchgeführt werden. Die quantitative Bestimmung der restlichen Parameter muß daher Schätzungen überlassen bleiben. Die Abb.41 - 46 und Tab.22-24 vermitteln einen groben Überblick über den Wasserbedarf im Versorgungsbereich des Münsterländer Kiessandzuges, der leider nur in der jeweiligen Größenordnung von Aussagekraft sein kann. Aus diesen

Gründen muß sich eine Wasserbilanz darauf beschränken, daß das Wasserdargebot des Untersuchungsraumes den Bedarfsmengen gegenübergestellt wird, die aus dem Gebiet gedeckt werden sollen. Der Aussagewert dieser Bilanz ist daher stark geschmälert, da sich das Datenmaterial nur auf die verliehenen bzw. beantragten Wasserrechte beschränkt.

6. GEGENÜBERSTELLUNG VON WASSERBEDARF UND WASSERDARGBOT

Die Aufgabe der Wasserbilanz besteht darin, Wasserbedarf (WB) und Dargebot (WD) gegenüberzustellen. Eine Wasserbilanz kann folgende Ergebnisse erbringen:

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

Obwohl die Verwaltungsgrenzen der einzelnen Kommunen schon eine Aufgliederung in Teilgebiete beinhalten, sind es doch vor allem wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte, die hauptsächlich zum Tragen kommen müssen. Die Abgrenzung ist daher nach den Grenzen der Teilniederschlags- bzw. Einzugsgebiete der Vorfluter und den Versorgungsräumen der Wasserwerke vorgenommen worden (s. Abb.31). Die hydrogeologischen Gegebenheiten können als einheitlich angenommen werden.

Auf die Einflußgrößen "Wasserbedarf" und "Grundwasserdargebot" wurde schon in vorangegangenen Abschnitten eingegangen. Das nutzbare Oberflächenwasser, das als Flußwasser bzw. als Kanalwasser zur Verfügung steht, ist primär im ersten Fall mengenmäßig durch den Niedrigwasserabfluß (NNQ) bestimmt. Die für den Kiessandzug zwecks Infiltration bedeutsamen Vorfluter einschließlich Dortmund-Ems-Kanal haben ein Einzugsgebiet, das über das der Ems/Vechte hinausgeht. In der Wasserbilanz sollte der Infiltration keine zu große Bedeutung beigemessen werden, denn diese stellt eine künstliche Beeinflussung der natürlichen Verhältnisse dar und unterliegt als variable Größe ebenso wie der Fremdbezug von Wasser anderen Voraussetzungen. Das Oberflächenwasser-Dargebot der den Kiessandzug schneidenden Gewässer wird durch den Kiessandzug in unbekannter Größenordnung beeinflusst. Der Teil des Grundwasserdargebotes, der zur Sicherung von Mindestabflüssen in den oberirdischen Gewässern vom Grundwasserdargebot als Reserve abgezogen werden müßte, konnte wegen des Mangels an Daten nicht erfaßt werden. Daneben ist es äußerst problematisch, das ermittelte Grundwasserdargebot dem nutzbaren Grundwasserdargebot gleichzusetzen, obwohl von einer minimalen Neubildungsrate ausgegangen wurde.

In Tab.25 erfolgte eine Gegenüberstellung der Wasserrechte und des Grundwasserdargebotes. Das in Spalte 3 dargestellte Grundwasserdargebot des engeren Regenerationsgebietes zeigt in der Gegenüberstellung mit der Spalte 2 nur in den Teilgebieten II, III und VI eine aktive Bilanz (Spalte 6). Dieser Zustand bleibt auch gewahrt, wenn in diese Bilanz noch die entsprechenden Infiltrationsmengen mit einbezogen werden (Spalte 7). Für den Kiessandzug von eingeschränkter Bedeutung ist der Vergleich zwischen dem Grundwasserdargebot des weiteren Regenerationsgebietes und dem Bedarf (Spalten 8 und 9). Diese Werte sind mit Vorbehalt zu behandeln, da die einzelnen Parameter aufgrund des relativ spärlichen Datenmaterials nur auf Schätzungen beruhen. Die "Bilanz" ist aus den angeführten Gründen mit größten Ungenauigkeiten behaftet, was leicht zu falschen Schlußfolgerungen führen kann.

7. WASSERBESCHAFFENHEIT

7.1. Grundwasser

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 Wässern, 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.

Von den Wasserwerken im Münsterländer Kiessandzug liegen zum Teil regelmäßige chemische Untersuchungen vor, die bis zum Jahre 1969/70 ausgewertet worden sind (HINZ 1972, MÖLLER 1972, POLLKÖTTER 1971). Der Bearbeitungszeitraum betrug etwa 10 - 15 Jahre. Unter Verwendung obiger Untersuchungen wurde die Auswertung der Ergebnisse bis zum Jahre 1975 fortgeführt. Als Quellen für die Auswertung dienten die Einzelergebnisse der durch verschiedene Institute ausgeführten Untersuchungen. Diese Werte wurden zunächst in Tabellen erfaßt, wonach die Bildung von überschneidenden Mittelwerten erfolgte. Diese Art der Auswertung hat den Vorteil, daß Tendenzen in der Änderung der chemischen Zusammensetzung des Wassers deutlich gemacht werden können, im Gegensatz zur direkten Auftragung von Einzelergebnissen. Hierbei ergibt sich meist immer ein sehr uneinheitlicher Verlauf der Kurven, was aus den manchmal recht erheblichen Konzentrations-Unterschieden der Einzelwerte resultiert und die Aussagekraft der graphischen Darstellungen vermindert. Bei der Bildung der überschneidenden Mittelwerte wurde wie folgt verfahren: Es wurden in chronologischer Reihenfolge Einzelwerte zusammengefaßt, deren Intervalle sich so überschneiden, daß die letzten drei Einzelwerte des ersten Intervalls zugleich die ersten drei Werte des folgenden Intervalls etc. darstellen. Die Anzahl der Einzelwerte richtet sich nach der Menge der vorhandenen Proben. Die Beschreibung und Diskussion der chemischen Verhältnisse erfolgt ausschließlich mit den Werten der Mittelwertkurven, falls dies nicht anders vermerkt ist.

Eine exakte Interpretation der Konzentrationsänderungen der chemischen Inhaltsstoffe bei den Wasserwerken des Münsterländer Kiessandzuges erweist sich als sehr schwierig und nicht unproblematisch. Als wesentliche Beeinflussungsfaktoren sind zu nennen:

- a) verschiedene Wasserwerke untersuchen nur Reinwässer (d.h. die Wässer haben bereits eine Filteranlage durchlaufen)
- b) pro Jahr werden meist nur zwei Proben einer chemischen Vollanalyse unterzogen, was für statistische Erhebungen als unbefriedigend anzusehen ist
- c) die Probenahme erfolgt zu nicht konstanten Zeitpunkten. Jahreszeitlich bedingte Schwankungen der chemischen Verhältnisse durch Düngung oder wechselnde künstliche Grundwasseranreicherung bei Niedrigwasser, um nur zwei Beispiele zu nennen, können die wahren Gegebenheiten verschleiern
- d) die größten, teils noch unbekanntem hydraulischen Verhältnisse der Kiessandrinne einschließlich des Randbereiches gestatten noch keine exakten Vorstellungen über Zu- und Abstrom des Grundwassers. Neben teilweise durchgeführter künstlicher Grundwasseranreicherung, den Kiessandzug ab bestimmter Wasserstände infiltrierend kreuzender Vorfluter, sowie eines nicht weiter definierbaren Zu- und Abstromes, wird gesamt gesehen ein "Rohwasser" gefördert, das eigentlich nur als Mischwasser bezeichnet werden kann.

7.1.1. Wasserwerke der Stadt Münster

Durch fünf Pumpwerke (III, IV, V, VI, VII) im Münsterländer Kiessandzug mit unterschiedlicher Kapazität sowie Wasserfremdbezug aus Haltern wird der größte Teil des Wasserbedarfs der Stadt Münster sichergestellt. Auch Oberflächenwasser aus dem Dortmund-Ems-Kanal wird indirekt zur Wasserversorgung mit herangezogen. Die Pumpwerke IX und XI nehmen kontinuierlich Kanalwasser, das wieder bei den Pumpwerken III und V zur Versickerung gebracht wird und somit das Grundwasser anreichert. Für den gesamten Untersuchungszeitraum liegen keine Rohwasseranalysen vor, so daß auf Reinwasseranalysen zurückgegriffen werden mußte.

Die Variation des *pH-Wertes* bei allen Pumpwerken ist gering. Sie liegt zwischen 7,0 und 7,3. Alle Mittelwerte bewegen sich im alkalischen Bereich (s. Abb. 47).

Die Abb. 48 verzeichnet deutlich ab 1970 einen Anstieg der *freien Kohlensäure*. Der Höchstwert von 47,9 mg/l wird 1975 vom Pumpwerk IV "Preußenstadion" erreicht. Deutlich darunter folgen dann die Pumpwerke "Kinderhaus" und "Hiltrup" (XII u. VI). Innerhalb dieser Abbildung sind die angereicherten Grundwässer der Pumpwerke "Geist" und "Hohe Ward" (III und IV) klar abgehoben von den übrigen Pumpstationen. Die Erklärung dieses Unterschiedes ist primär zu suchen in den hohen Einspeisungsmengen aus dem Dortmund-Ems-Kanal, der somit diese Mischwässer chemisch beeinflusst. Eine laufende Kontrolle des Kanalwassers ist somit unerlässlich, denn bei Veränderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts besteht die Möglichkeit der Kalkaggressivität, was aber durch entsprechende Aufbereitungsmaßnahmen kompensiert werden könnte (AXT 1969:422-439). Nach HÖLL (1970:198) hat der Kohlensäuregehalt kaum eine hygienische Bedeutung, aber freie Kohlensäure kann in seltenen Fällen als Zersetzungsprodukt auf Verwesungserscheinungen zurückgeführt werden. Dieser Aspekt dürfte sicherlich hier nicht von entscheidender Bedeutung sein, aber speziell beim Wasserwerk Preußenstadion, könnte der erhöhte Gehalt an freier Kohlensäure aus Trümmerschuttablagerungen resultieren, womit offen gelassene Sandgruben wieder verfüllt wurden. Der Trümmerschutt enthält unter anderem Wand- und Deckenputz, Kalk, Gips, Lehm und organische Bestandteile. Durch die schwach kohlenstoffhaltigen Niederschlagswässer, deren Säuregehalt durch das kohlenstoffhaltige Material des Mülls und anderer organischer Bestandteile noch angereichert

wird, werden die löslichen Bestandteile der Schuttmassen ausgelaugt, und die ausgelaugten Stoffe dem Grundwasser zugeführt. Je nach Fließgeschwindigkeit des Grundwassers und der Filterwirkung des Aquifers kann es Jahre dauern, bis die chemische Verunreinigung bzw. das stark veränderte Grundwasser zu den Entnahmebrunnen gelangt.

Der Zusammenhang zwischen freier Kohlensäure und *Gesamthärte* wird deutlich beim Vergleich der Abbildungen 48 und 49. Die freie Kohlensäure bestimmt nicht nur im wesentlichen die Aggressivität sondern auch die Härte des Wassers. Die Kurven der Gesamthärte lassen eine Klassifizierung der Wässer eindeutig zu. Als im Mittel "ziemlich hart" bis "hart" sind die Wässer aller fünf Pumpstationen zu bezeichnen. Die Werte für die Gesamthärte bewegen sich für die Wasserwerke "Preußenstadion", "Hiltrup" und "Kinderhaus" etwa im oberen Drittel des Definitionsbereiches "hart" (18 - 30⁰ d.H.), während die Pumpstationen "Geist" und "Hohe Wand" deutlich darunter liegen, was seine Ursache im Verhältnis des Verdünnungseffektes von natürlich gebildetem Grundwasser und dem Kanalwasser hat.

Die *Karbonathärte* ist auch bekannt unter der Bezeichnung Kohlensäurehärte oder temporäre Härte. Eine Abstufung der einzelnen Wasserwerke ist zu erkennen, kommt aber nicht so stark zum Ausdruck wie bei den Kurven der Gesamthärte (s. Abb.50).

Bei den *Fe- und Mn-Werten* handelt es sich um Rohwasseranalysen, deren Eisen- und Mangankonzentration nach Mitteilung der Stadtwerke Münster im Durchschnitt unter 1 mg/l festzusetzen sind.

Chlor kann sowohl durch Auslaugen anorganischer Bestandteile als auch durch Zuflüsse mit organischen Inhaltsstoffen in das Grundwasser gelangen. Bestimmend für den Chloridgehalt der Pumpwerke "Geist" und "Hohe Ward" ist die Konzentration der Chlorid-Ionen im Dortmund-Ems-Kanal. Die aus klimatologischen Verhältnissen resultierende Einleitung salzhaltigen Lippe-Wassers bewirkt eine Erhöhung des Chloridgehaltes der genannten Pumpwerke. Durch laufende Überwachung der Qualität des Kanalwassers kann bei hohen Chloridwerten die Anreicherung unterbrochen werden. Seit 1973 bewegen sich die Konzentrationsschwankungen der Pumpwerke III und V im Bereich von 70 und 80 mg/l. Bei den übrigen Wasserwerken ist ein Einpendeln der Chloridkonzentrationen zwischen 45 und 55 mg/l zu beobachten, wobei das Wasserwerk VII "Kinderhaus I" seit 1960 einen kontinuierlichen Kurvenabfall verzeichnet. Eine Erklärung dafür kann nur im Zusammenhang mit dem Kurvenverlauf der Abbildung 51 gegeben werden: Zunehmende Besiedlung und Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzung mit einer dadurch verminderten Düngung.

Der Gang der *Sulfat-Ionen-Konzentration* ist gekennzeichnet durch starke Schwankungen. Den niedrigeren Werten beim angereicherten Grundwasser (Wasserwerke III und V) stehen die wechselnden, durchweg höheren Konzentrationen der anderen Pumpwerke gegenüber. Im Durchschnitt verzeichnet das Pumpwerk "Preußenstadion" die höchsten Werte. Nach einer Konzentration von etwa 300 mg/l im Jahre 1960 liegt das Mittel der letzten drei Jahre im Bereich von 245 mg/l. Beim Pumpwerk "Geist" wird innerhalb des betrachteten Zeitraumes im Jahr 1975 ein Maximalwert von 140 mg/l erreicht. Das Wasserwerk "Kinderhaus" kann seit dem Jahre 1970 eine Abnahme des Sulfatgehaltes von 200 auf 185 mg/l verzeichnen. Konstant verhält sich der Schwankungsbereich beim Wasserwerk "Hohe Ward" in den Grenzen von 80 bis 105 mg/l. Die differenzierten Werte der Sulfatgehalte sind ein weiteres Indiz für die geäußerten Vermutungen, das heißt im einzelnen: Beeinträchtigung der Wasserwerke "Geist", "Hiltrup" und "Preußenstadion" durch Trümmerschuttablagerungen mit reduzierten Werten beim Wasserwerk "Geist" durch Grundwasseranreicherung. Für die Wasserwerke "Kinderhaus" und "Hohe Ward" scheint diese Art von anthropogenem Einfluß nicht gegeben zu sein. Während beim Wasserwerk "Kinderhaus" im wesentlichen nur eine Beeinflussung und zeitweise Infiltration des Nienberger-Baches in Frage kommt, scheint das in einem Waldgebiet an der Peripherie von Münster liegende Wasserwerk "Hohe Ward" direkt keiner Beeinträchtigung dieser Art zu unterliegen (s. Abb.52).

Der *Nitratgehalt* zeigt im Raum Münster ein sehr differenziertes Bild. Neben den verhältnismäßig niedrigen Werten der Pumpstationen "Geist" und "Hohe Ward", die besonders bei der Pumpstation "Geist" als leicht steigend anzusehen sind, liegen bei der Pumpstation "Kinderhaus" zeitweise relativ hohe Konzentrationen vor, die starken Schwankungen unterworfen sind. Seit dem Jahre 1974 scheint aber der Trend auf eine Abnahme des Nitratgehaltes hinzuweisen. Ebenfalls rückläufige Tendenz zeigen die Pumpwerke "Hiltrup" und "Preußenstadion". Sollten die rückläufigen Tendenzen anhalten, so kann das auf eine Einschränkung in der landwirtschaftlichen Düngung zurückgeführt werden oder die starken Schwankungen resultieren nach SCHWILLE (1962) aus biologischen Prozessen. Wie SCHWILLE (1962) anführt, sind die vielfach unvermittelten Schwankungen in weiteren Grenzen charakteristisch für das Verhalten der Nitratgehalte im Grundwasser. Minima und Maxima der Gehalte liegen im allgemeinen viel weiter auseinander als bei allen anderen Hauptbestandteilen (s. Abb.53). Ein solches Verhalten erschwert selbstverständlich eine Interpretation der Nitratgehalte.

Alle Wasserwerke zeigen einen etwa gleichen *Kaliumpermanganat-Verbrauch*, der im Durchschnitt zwischen 4 und 6 mg/l liegt und als zufriedenstellend niedrig zu bezeichnen ist (s. Abb.54).

7.1.2. Dortmund-Ems-Kanal

Der Dortmund-Ems-Kanal stellt eine Verbindung zwischen dem Ruhrgebiet und der Nordsee dar. Obwohl der Dortmund-Ems-Kanal, der das Siedlungsgebiet der Stadt Münster durchquert, seine größte Bedeutung als Wasserstrasse hat, dient er auch indirekt als Trinkwasserreservoir. Die Stadtwerke Münster entnehmen über das ganze Jahr Wasser aus dem Kanal zur Grundwasseranreicherung. Nach der Gewässergütekarte kann man den Dortmund-Ems-Kanal in die Wassergütekategorie II einstufen. Eine allgemeine Beurteilung der Konzentrationskurven der chemischen Analysen (s. Abb.55 - 57) untermauert dies. Da der Dortmund-Ems-Kanal als stehendes Gewässer zu betrachten ist, liegt seine Selbstreinigungskraft unter der vergleichbarer fließender Gewässer. Im einzelnen soll hier nur auf die Konzentration der Chlorid-Ionen eingegangen werden, da sie besonders einen nachhaltigen Einfluß auf die Verwendungsmöglichkeiten des Wassers haben. Chloride gehören mit zu den häufigsten anorganischen Verunreinigungen, deren Gehalt im Verlauf der Selbstreinigung nicht oder nur geringfügig sinkt. Durch die wech-

selnden, klimatologisch bedingten Speisungsverhältnisse des Dortmund-Ems-Kanals mit salzhaltigen Wässern der Lippe und des Rheins kann es zu entsprechenden Chlorid-Spitzen im Grundwasser kommen. Eine spezielle Überwachung der Chloride wird daher ständig vorgenommen, so daß bei erhöhter Konzentration die Infiltration unterbrochen werden kann. Der Dortmund-Ems-Kanal weist durchschnittliche Chlorid-Gehalte auf, die sich zwischen 120 und 50 mg/l bewegen. Ein im Trockenjahr 1959 aufgetretener Extremwert von 156 mg/l resultiert aus den hohen Einspeisungsmengen in jenem Jahr. Die Konzentrationen der verbliebenen chemischen Inhaltsstoffe gehen aus den Abbildungen 55 - 57 hervor.

7.1.3. Förderbrunnen der Germania-Brauerei

Neben den Wassergewinnungsanlagen der Stadtwerke Münster entnimmt die Germania-Brauerei erhebliche Mengen an Grundwasser aus dem Münsterländer Kiessandzug. Die aus mehreren Brunnen geförderte Wassermenge entspricht etwa der eines der Wasserwerke im Kiessandzug. Somit ist die Germania-Brauerei auf dem Bereich der Grundwasserentnahme das bedeutendste Wirtschaftsunternehmen. Im Gegensatz zu den Reinwasseranalysen der Pumpstationen der Stadtwerke Münster liegen seit dem Jahre 1967 Rohwasseranalysen vor. Da die Förderbrunnen der Germania-Brauerei nur etwa drei Kilometer südlich von der Pumpstation "Kinderhaus" liegen, bietet sich mit Einschränkungen ein Vergleich an.

Der *pH-Wert* schwankt mit sehr geringen Abweichungen um den Neutrapunkt. Die Konzentrationen an *freier Kohlensäure*, die 1968 einen Höchstwert von 36,4 mg/l erreichten, verzeichneten im Jahre darauf einen deutlichen Rückgang, um dann wieder kontinuierlich anzusteigen auf 35 mg/l im Jahr 1975. Trotz abnehmender Gesamthärten bei einem derzeitigen Minimum von 23° d.H. ist das Wasser der Germania-Brauerei als "ziemlich hart" zu bezeichnen. Eisen und Mangan treten nur sporadisch auf, wobei dann teilweise die Grenzwerte überschritten werden. Die *Chloridwerte* verzeichnen einen relativ geringen Schwankungsbereich, der im Mittel zwischen 55,7 und 72,3 mg/l liegt. Eine deutliche Abnahme der *Sulfat- und Nitratkonzentrationen* im Bearbeitungsraum dürfte, wie beim Wasserwerk "Kinderhaus", seine Ursache im verminderten Einfluß menschlicher Einwirkungen haben. Ein Hinweis darauf könnte auch der sich andeutende Abwärtstrend des *Kaliummanganat-Verbrauches* sein (s. Abb. 58 -59).

7.1.4. Wasserwerk der Borghorst-Burgsteinfurt GmbH, Ahlntel

Die Städte Borghorst-Burgsteinfurt und die Gemeinden Altenberge und Nordwalde werden durch die Pumpwerke "Ahlntel I, II und III" mit Trink- und Brauchwasser versorgt. Zur Auswertung standen für die Pumpwerke I und II im wesentlichen nur Reinwasseranalysen zur Verfügung. Bis zum Jahre 1966 konnte aufgrund der guten Qualität das Rohwasser direkt ins Versorgungsnetz gepumpt werden. Lediglich bei dem in Betrieb genommenen Pumpwerk III konnte auf Rohwasseranalysen zurückgegriffen werden. Die Bewertung der Untersuchungsergebnisse kann daher getrennt erfolgen. Bei den Reinwasseranalysen handelt es sich bis zum Jahre 1973/74 um Sammelanalysen aus Wässern der Pumpwerke I und II, die ab obigem Zeitpunkt mit dem Wasser aus Pumpwerk III erweitert werden.

Pumpwerke I und II

Konstant zwischen pH 7 und 8 verläuft die Mittelwertkurve der *pH-Werte*. Auch bei den Einzelwerten liegt die Reaktion des Wassers immer im alkalischen Bereich (s. Abb. 60).

Die Abbildung 60 zeigt von 1960 bis 1966 einen Abfall der Werte von *freier Kohlensäure* von 11,2 auf 5 mg/l, dem 1973/74 erst wieder ein Anstieg der Werte folgte. Der kontinuierliche Abfall der Konzentration von Jahre 1962 an ist sicherlich größtenteils auf die Aufbereitung zurückzuführen, während der Anstieg 1973/74 sicherlich durch das Wasser der Pumpstation III verursacht worden ist.

Die *Gesamthärte* der Pumpstationen I und II kann, da die Mittelwertkurve zwischen 12 und 16° d.H. verläuft, als hart bezeichnet werden. Im betrachteten Zeitraum ist bis 1970 eine Aufhärtung von etwa 2,5° d.H. zu verzeichnen, wobei ein Höchstwert von 15,6° d.H. erreicht wird. Danach ist eine leichte Senkung der Gesamthärte zu erkennen (s. Abb. 60).

Da *Eisen und Mangan*, deutlich die Konzentrationsgrenze überschritten, waren sie mit ausschlaggebend für die im Jahre 1962 in Betrieb genommene Aufbereitungsanlage. Eine deutliche Reduzierung der Rohwasserwerte konnte damit erreicht werden (s. Abb. 61).

Ein geringer Schwankungsbereich bei Konzentrationen um 50 mg/l kennzeichnet den Kurvenverlauf für *Chloride* (s. Abb. 61).

Das Kurvenbild der *Sulfate* ist, wie Abbildung 61 zeigt, sehr bewegt und läßt noch keinen sichtbaren Trend erkennen. Jedoch kann mit einiger Wahrscheinlichkeit gerechnet werden, daß sich der bisherige Schwankungsbereich zwischen 90 und 50 mg/l auf ein höheres Niveau begeben wird, was man aus den Analysendaten von Pumpwerk III ableiten kann.

Auch bei den *Nitratkonzentrationen* ergibt sich noch kein klar interpretierbares Bild (s. Abb. 60). Eine Konzentration von 30 mg/l im Zeitraum von 1960 - 1975 wurde nie überschritten. Somit liegt der Nitratgehalt weit unter dem festgelegten Grenzwert von 90 mg/l der WHO.

Der *Kaliumpermanganat*-Verbrauch liegt mit 6,5 mg/l insgesamt noch im günstigen Bereich. Es ist aber abzu-sehen, daß durch das Mischen mit dem Wasser des Brunnenfeldes III auch hier mit einer Erhöhung gerechnet wer-den kann.

Pumpwerk III

Um den steigenden Wasserbedarf abdecken zu können, wurde die Kapazität des Wasserwerkes "Ahlintel" um eine dritte Pumpstation erweitert. Der gewählte Standort liegt auf der Verbindungslinie von zwei Moorengebieten, die durch den Kiessandzug voneinander getrennt werden. Aus den Analyseergebnissen kann man auf eine hydraulische Verbindung der Moor- mit den Kiessandzug-Wässern schließen. Die Analysen für das geförderte "Mischwasser" des Pumpwerkes III liegen seit 1973 vor. Bei der graphischen Darstellung wurde nicht die überschneidende Mittelwertbildung angewendet, sondern es erfolgte das Aufzeichnen der einzelnen Jahresmittel.

Gewässer, die auf ihrem unterirdischen Fließweg mit anmoorigen oder torfartigen Böden, Mooren, Gesteinen mit hohen Gehalten an organischen Substanzen etc. in Berührung kommen, weisen durchweg *pH-Werte* im sauren Bereich auf. Eine Reduzierung der sich sonst im alkalischen Bereich befindenden Wässer des Bereiches Ahlintel auf einen durchschnittlichen pH-Wert von 6,5 resultiert allein auf dem Einfluß der Moorwässer.

Neben einem Absinken des pH-Wertes führt die Zersetzung der Pflanzenmasse im Mooregebiet auch zu einer Überproduktion an Kohlendioxid. Die hohen Gehalte an *freier Kohlensäure* mit einem Spitzenwert von 143 mg/l im Jahr 1974 (s. Abb. 62) führen u.a. zu einer Aggressivität des Wassers.

Die *hiesige* zeigt verhältnismäßig große Schwankungen zwischen 8 und 16° d.H. Der Höchstwert von 16° d.H. hebt sich dabei deutlich von den anderen Werten ab, die sich ausnahmslos im Bereich von 8 - 10° d.H. bewegen und somit dem Wasser den Beurteilungsgrad mittelhart verleihen.

Hohe *Eisen-* (32 - 54 mg/l) und *Manganwerte* (0,35 - 0,43 mg/l) machen die Herkunft des geförderten Wassers ebenfalls deutlich. Die Verbindungen des dreiwertigen Eisens sind fast ganz wasserunlöslich. Eisen bleibt daher nur unter Reduktionsbedingungen in zweiwertiger Verbindung in Lösung. Die Bedingungen, unter denen Eisenverbindungen in Lösung bleiben, sind Sauerstoffarmut, das Vorhandensein von zersetzbaren organischen Materials und die daraus resultierenden hohen Gehalte an freier Kohlensäure und pH-Werten im sauren Bereich.

Die *Chloride* liegen zwischen 53 und 68 mg/l. Diese Werte befinden sich etwas über dem Durchschnitt, gemessen an den anderen Wasserwerken des Kiessandzuges, soweit diese nicht Oberflächenwasser anreichern. Lokale Einwirkungen durch Düngung dürften die Ursache sein.

Erfahrungsgemäß zeigen sich bei *Sulfaten* große Unterschiede in den Konzentrationen. Die ermittelten Werte liegen zwischen 24 und 114 mg/l. Die sprunghafte Erhöhung des Sulfatgehaltes kann eintreten nach Absenkung des Grundwasserspiegels, wenn Sulfide (z.B. FeS₂) in den von der Grundluft erfüllten Bereichen zu Sulfaten oxidiert werden, die dann beim Wiederanstieg (reduzierte Fördermenge) des Wassers in Lösung gehen.

Ein weiteres Indiz für den verhältnismäßig hohen Anteil des Moorwassereinflusses auf die Mischwasserqualität sind die geringen *Nitratkonzentrationen* zwischen 1,7 und 5 mg/l und der Gehalt an Ammonium. Die Ursachen des Auftretens von Ammonium und eines verminderten Nitratgehaltes folgen nicht nur aus der gehemmten Nitrifikation des durch Abbau von organischer Substanz freigesetzten Ammoniums (Ammonium- und Nitratoxidanten sind streng aerob), sondern auch durch anaerobe Denitrifikation des Nitrats zu Ammonium und elementarem Stickstoff durch Mikroorganismen.

Die Humusstoffe sind im Wasser schwer löslich. In kolloider Lösung kommen sie jedoch in Moorwässern in beträchtlichen Konzentrationen vor, wie Färbung und der *Kaliumpermanganat-Verbrauch* zeigen. Das geförderte Mischwasser hat daher auch immer eine schwach gelbliche Färbung und einen Kaliumpermanganat-Verbrauch zwischen 24 und 65 mg/l.

Kieswasserfrage u.ä.

Wie aus den obigen Ausführungen ersichtlich ist, besteht kein Zweifel an einer starken Beeinflussung durch Moorwässer. Nach RUTTNER (1965:249) sind für alle Moorwässer vor allem drei Merkmale charakteristisch, die einschließlic der daraus erwachsenen chemischen Wechselwirkungen beim Pumpwerk "Ahlintel III" ins Gewicht fallen:

- a) eine Armut an gelösten Elektrolyten. Die Gesamtkonzentration entspricht ungefähr der des Regenwassers
- b) eine saure Reaktion, wobei pH-Werte in Hochmooren meistens bei 3,5 und 4,5 bzw. in Flachmooren zwischen 5 und 6 liegen
- c) ein hoher Gehalt an Humusstoffen, der dem Wasser oft schon in Schichten von mäßiger Dicke eine gelbe bis bräunliche Farbe verleiht.

Im Gegensatz zu den Wässern der anderen Pumpwerke im Raum Ahlintel kann dieses Wasser ohne speziellen Aufbereitungsaufwand nicht dem Verbraucher zugeführt werden. Der Widerspruch zwischen optimalem und tatsächlichem Standort ist bei der Pumpstation "Ahlintel III" deutlich sichtbar.

7.1.5. Wasserwerke der Städte Rheine und Ochtrup

Im nördlichen Bereich des Münsterländer Kiessandzuges liegen die Wasserwerke der Städte Ochtrup und Rheine. Die Stadt Ochtrup wird durch das Wasserwerk "Offlum" versorgt, wo seit 1956 das Grundwasser aus der abwasserbelasteten Steinfurter Aa angereichert wird. Von den Wasserwerken "Haddorf", "Neuenkirchen" und "St.-Arnold"

bezieht die Stadt Rheine ihr Wasser. Eine Anreicherung durch Oberflächenwasser erfolgt auch hier und wird vorgenommen bei den Pumpstationen "Neuenkirchen" und "St.-Arnold" aus dem Frischhofs-Bach.

Eine Gegenüberstellung des *pi-Wertes* zeigt keine einheitliche Tendenz. Die pH-Wert-Messungen des Rohwassers vom Wasserwerk Ochtrup liegen durchweg im alkalischen Bereich und zeigen eine geringe Schwankungsbreite zwischen pH 7,0 und 7,3. Bei den Wasserwerken der Stadt Rheine sind Abweichungen vom Neutralpunkt vorhanden, die mit ihren Extremwerten pH 6,4 - 7,2 innerhalb der Bandbreite liegen, die NAUMANN (1963:50) für natürliche Wässer mit pH 6,5 - 7,5 angibt (s. Abb. 63).

Von 1962 bis 1968 ist ein Rückgang der *freien Kohlensäure* bei den Wasserwerken der Stadt Rheine festzustellen. Der Ausgangsbereich lag zwischen 27,5 und 15 mg/l, und die Kurven (s. Abb. 64) erreichten 1968 ein Minimum von etwa 8 mg/l. Eine Erklärung dafür erscheint ebenso unmöglich wie die Beurteilung des zwischen 1968 und 1975 folgenden Wiederanstieges der Konzentration auf Werte im Bereich von 22 und 31 mg/l. Das Wasserwerk "Offlum" zeigt ab 1969 den gleichen Trend wie die übrigen Pumpstationen, jedoch war der Gang der Kohlensäurekurve in den Jahren davor nicht kontinuierlich fallend, sondern erheblichen Schwankungen unterworfen. Durch den gleichzeitigen Anstieg der gebundenen Kohlensäure lassen sich Parallelen herstellen zu den Anreicherungs-wässern der Steinfurter Aa und des Frischhof-Baches, die einen entscheidenden Einfluß auf die Rohwasserqualität ausüben. Einer exakten Beurteilung steht aber entgegen, daß die Wertekurve des Wasserwerkes "Haddorf", das keine Grundwasseranreicherung erfährt, den etwa gleichen Verlauf nimmt wie die übrigen Wasserwerke.

Eine Zunahme der *Gesamthärte* mit dem Beginn der künstlichen Grundwasseranreicherung zeichnet sich bei allen Pumpstationen ab und ein weiterer Anstieg ist wahrscheinlich. Auch beim Wasserwerk "Haddorf" ist bis zum Jahre 1968 ein Anstieg festzustellen, jedoch nimmt danach die Steigerungsrate deutlich ab. Wie aus der Abb. 65 ersichtlich, hat sich seit 1968 ein Gesamthärtewert um 10° d.H. eingestellt. Mit den vorhandenen Meßwerten lassen sich die Wässer der Stadtwerke Rheine in den Bereich weich bis mittelhart einstufen. Deutlich abgesetzt davon ist das harte Wasser der Stadt Ochtrup. Es liegt hier nahe, daß im verstärkten Maße Kluftwässer des Cenoman-Zuges in den Kiessandzug einströmen.

Eisen kommt wegen seiner spezifischen Lösungseigenschaften im Gewässer nur in geringen Mengen vor, obwohl es eines der am weitesten verbreiteten Elemente auf der Erde ist. Eine Ausnahme bildet das Grundwasser, das viel Eisen und Mangan gelöst enthalten kann. Eine Erklärung der Schwankungen des Eisengehaltes kann bei den Wasserwerken der Stadtwerke Rheine nicht vorgenommen werden, da verschiedene Ursachen zu tragen kommen können. Erwähnenswert erscheint, daß das Wasserwerk "Haddorf" die höchsten Werte erreicht. Eindeutig interpretierbar erscheint dagegen die Situation beim Wasserwerk "Offlum" zu sein. Durch wechselnde Entnahmemengen und künstliche Grundwasseranreicherung aus der abwasserbelasteten Steinfurter Aa wurden erhebliche Grundwasserspiegelschwankungen verursacht. Reduktionsbedingungen, unter denen Eisen nur in Lösung bleibt, waren die Folge. Nach Verminderung der Anreicherung war eine deutliche Abnahme der Eisen-Werte zu verzeichnen (s. Abb. 66).

Mangan tritt in unterschiedlichen Konzentrationen auf. In den letzten fünf Jahren kann das Wasserwerk "Haddorf" die höchsten Werte mit bis 0,5 mg/l verzeichnen. Das Wasserwerk "St.-Arnold" folgt mit Konzentrationen im Bereich von 0,1 - 0,2 mg/l. Bei den noch verbleibenden Wasserwerken "Ochtrup" und "Neuenkirchen" weisen die Analysen größtenteils nur Spuren auf, was besagt, daß der Grenzwert von 0,05 mg/l nicht überschritten wurde.

Auf Grund ihres hohen Dissoziationsvermögens folgen die *Chloride*, da sie den Oberflächenkräften der Bodenkolloide nur sehr wenig unterworfen sind, sehr stark den Wasserbewegungen in den Bodenhohlräumen. Folglich wird bei Betrachtung der Chlorid-Konzentration der Einfluß der künstlichen Grundwasseranreicherung deutlich. Besonders kann man diese Abhängigkeit beim Wasserwerk "Ochtrup" erkennen, wo hohen Infiltrationsmengen steigende Chloridwerte entsprechen (s. Abb. 67). Bei den Wasserwerken "St.-Arnold" und "Neuenkirchen" zeigt sich etwa das gleiche Bild. Ein Anstieg der Chloridwerte seit 1960, dem Beginn der Infiltration aus dem Frischhofs-Bach, von etwa 30 mg/l bis in die Zone von durchschnittlich 45 mg/l bedeutet eine kontinuierliche Angleichung an den Chloridgehalt obiger Entnahmestelle. In Haddorf kann man den steten Anstieg der Konzentration auf die intensive Düngung zurückführen, was SCHULZ (1973) auch an Sanderflächen in Schleswig-Holstein feststellen konnte. Man ist somit in der Lage, den Chloridwert als Indikator für eine Belastung des Grundwassers durch chemische Düngung zu werten, wenn andere Faktoren auszuschließen sind.

Beträchtliche Schwankungen in der Konzentration der *Sulfate* kennzeichnen den Gang der einzelnen Kurven der Abb. 68. Auf Faktoren, die den Sulfatgehalt des Grundwassers beeinflussen, wurde in dieser Arbeit schon hingewiesen. Die Hauptursache der Beeinflussung der Wasserwerke von Ochtrup und Rheine ist im wesentlichen auf biooxydative Vorgänge in der lebhaften Bodenzone und auf anthropogene Einwirkungen (Düngung, künstliche Grundwasseranreicherung) zurückzuführen. Eine fortschreitende Zunahme der Sulfatgehalte ist zu beobachten und es ist nicht auszuschließen, daß bei bleibenden Zuwachsraten in wenigen Jahren der Wert von 100 mg/l überschritten wird.

Nitrate sind in allen Wässern in geringen Mengen enthalten. Die Konzentration liegt dann in der Regel unter 10 mg/l. Nach Stoff ist ein Nitratgehalt bis 35 mg/l in unserem Gebiet als normal zu bezeichnen (HÖLL 1970:80). Bei den Wasserwerken im nördlichen Teil des Kiessandzuges wurde erstmals vom Wasserwerk "Neuenkirchen" in den Jahren 1974/75 der Wert von 20 mg/l überschritten. Der erreichte Maximalwert von 22,5 mg/l ist noch weit von der Bedenklichkeitsgrenze entfernt, aber ein zunehmender Anstieg des Nitratgehaltes in den vergangenen zehn Jahren ist augenscheinlich (s. Abb. 69). Die Ursachen sind auch hier nicht allein in der künstlichen Grundwasseranreicherung zu suchen, denn die Konzentrationskurven aller vier Wasserwerke überschneiden sich permanent. Einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Nitratkonzentration im Grundwasser leistet all-gemein die steigende Anwendung von stickstoffhaltigen Düngemitteln in der Landwirtschaft.

Kaliumpermanganat ist ein sehr sauerstoffreiches Chemikal, das als Kenngröße für den Sauerstoffbedarf eines organisch belasteten Wassers benutzt wird. Da die Gehalte an chemisch durch Kaliumpermanganat oxydierbaren organischen Stoffen bei sämtlichen Wasserwerken unter dem Schwellenwert von 12 mg/l bleiben, kann man sie trotz geringer steigender Tendenz als günstig bezeichnen. Eine Beeinflussung durch die künstliche Grundwasseranreicherung spielt auch hier eine Rolle, aber am Beispiel des Wasserwerkes Haddorf zeigt sich ein Zuwachs

auch ohne Infiltration. Alle Befunde sprechen für einen noch ausreichenden Abbau organischer Substanzen in den Filterschichten (s. Abb.70).

7.1.6. Wasserwerk Sendenhorst

Das Wasserwerk Sendenhorst liegt im südöstlichen Teil des Kiessandzuges und versorgt die Gemeinden Sendenhorst und Hoetmar. Im Jahre 1966 ging das Wasserwerk von der Stadt Ahlen in den Besitz der Gelsenwasser AG über. Regelmäßig durchgeführte Rohwasseranalysen sind erst seit 1966 vorhanden. Auf das bewährte Verfahren der überschneidenden Mittelwertbildung mußte verzichtet werden, da teilweise nur noch das sich aus zwölf Analysen zusammengesetzte Jahresmittel zur Verfügung stand. Die Auftragung der Punkte des Kurvenverlaufs erfolgte daher in Form des jeweiligen Jahresmittels.

Das im Durchschnitt leicht gelbliche und manchmal schwach dumpf riechende Rohwasser weist seit 1966 einen kontinuierlichen Anstieg des *pH-Wertes* von 6,8 auf 7,1 im Jahre 1975 auf. Eine damit auftretende Veränderung der freien Kohlensäure kann durch die Analyseergebnisse nicht direkt bestätigt werden.

Das Wasser hat eine hohe *Gesamthärte*, wofür letztlich die im Durchschnitt über 110 mg/l liegenden Sulfatkonzentrationen verantwortlich sind. Der *Chloridgehalt* pendelt konstant zwischen 35 und 45 mg/l.

Die *Eisen- und Mangangehalte* sind als sehr hoch anzusehen und überschreiten permanent die zulässigen Grenzwerte (s. Abb.71 - 73). Möglicherweise kann man daraus die Gehalte an Ammonium und Nitrit erklären. Ammonium und Nitrit können infolge von Nitratreduktion durch Schwefelwasserstoff entstehen, der aus der Reaktion von Kohlensäure und Eisensulfid resultiert.

Durch die im Verhältnis hohen Konzentrationen von Ammonium, Nitrit und Nitrat bei gleichzeitig hohem *Kaliumpermanganat-Verbrauch*, der zum Beispiel im vorliegenden Falle im Jahr 1969 einen Mittelwert von durchschnittlich 30 mg/l erreichte, ist die Rohwasserqualität nicht mehr als gut einzustufen.

Dem Wasserwerk Sendenhorst liegt eine besondere Problematik zugrunde, denn hier zeigt sich das erste Mal beispielhaft der Einfluß einer Tiefentsandung (Baggersee) auf die Grundwasserqualität, was auch deutlich in der Stilllegung von zwei Förderbrunnen des Wasserwerkes im Sommer des Jahres 1958 zum Ausdruck kam. Die Ursache der Beeinträchtigung ist eindeutig. Die Untersuchungen des Baggersees durch UNGEMACH (1964) und mich (im Jahre 1976) lassen nach Lage der Dinge keinen Zweifel mehr aufkommen.

7.1.7. Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß im wesentlichen menschliche Einflüsse (künstliche Grundwasseranreicherung und flächenhafte Düngung) die Grundwasserqualität beeinflussen. Eine direkte Beeinträchtigung des Grundwassers durch Baggerseen konnte nur in Sendenhorst nachgewiesen werden, was aber für die Zukunft nicht mehr von solcher Bedeutung sein wird, da die Einstellung des Förderbetriebes in Sendenhorst noch in diesem Jahr vorgesehen ist.

Das Gesamtbild ist sehr uneinheitlich und erschwert eine Aussage über die Entwicklungstendenz. Wenn nicht eine wesentliche Verschlechterung der Infiltrate und einschneidende Veränderungen in der Düngemittel-Anwendung eintreten, ist in absehbarer Zukunft nicht zu erwarten, daß seitens der hygienischen Überwachungsinsti-tute Bedenken erhoben werden. Die Befunde der bakteriologischen Untersuchungen sind bislang insgesamt zufriedenstellend.

7.2. Oberirdische Gewässer

Auskunft über den Zustand der *Vorfluter* geben die von der Landesanstalt für Wasser und Abfall herausgegebenen Gewässergütekarten. Die Gewässergüten der Vorfluter im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges sind darin nur teilweise enthalten.

Eine limnologische Gesamtaufnahme der *Baggerseen* des Münsterländer Kiessandzuges liegt zur Zeit noch nicht vor. Die vorhandenen Unterlagen, die nicht veröffentlicht wurden, beziehen sich nur auf Einzeluntersuchungen von UNGEMACH (1962, 1964, 1966, 1976), EICK (1976), V. WESTFALEN (1976) und FRIEDRICH (1976), die ausnahmslos als Gutachten bzw. als Stellungnahmen erstellt wurden und sich auf die chemischen und physikalischen Untersuchungen der Baggerseen beschränkten. Die folgenden Untersuchungen sollen eine Gesamtdarstellung des derzeitigen Gütezustandes vermitteln, der vom Grad der Eutrophierung maßgeblich bestimmt wird.

7.2.1. Eutrophierung und ihre Ursachen

Die Eutrophierung der Gewässer ist ein Vorgang, der durch die Anreicherung von Nährstoffen und dem damit verbundenen ausgeprägten Pflanzenwachstum zu einer Beeinträchtigung der Gewässergüte führt. Es treten durch menschliche Einflüsse schwere Schädigungen der natürlichen Gewässer-Ökosysteme ein. Die durch die charakteristischen Eutrophierungs-Symptome gekennzeichnete Änderung des biologischen Gleichgewichtes ist normalerweise irreversibel, wenn nicht kostenaufwendige, großtechnische Maßnahmen in Betracht gezogen werden.

Zur Beschreibung des Trophiegrades (d.h. der Intensität der Primärproduktion) unterscheidet man oligotrophe, mesotrophe, eutrophe sowie polytrophe Gewässer. In vielen wissenschaftlichen Publikationen wird versucht, die Trophiestufen mit Hilfe von verschiedenen Kriterien abzugrenzen. Eine umfassende Übersicht findet sich bei VOLLENWEIDER (1971:33-84). In der Bundesrepublik werden von der "Arbeitsgruppe Gewässergütekarte" (LÄNDERAUSSCHUSS WASSER 1975:4) die einzelnen Trophiestufen von Seen abgegrenzt. Als Hauptparameter wird die prozentuale Sauerstoffsättigung am Ende der Stagnationsperiode im Tiefenwasser herangezogen. Es wurden folgende Grenzwerte festgelegt:

a) Oligotrophe Seen

Klare, nährstoffarme Seen mit geringer Planktonproduktion, die am Ende der Stagnationsperiode auch in der Tiefe noch mit über 70 % Sauerstoff gesättigt sind.

b) Mesotrophe Seen

Seen mit geringem Nährstoffangebot, mäßiger Planktonproduktion und Sichttiefen von über 2 m, die im Tiefenwasser am Ende der Stagnationsperiode zu 30 bis 70 % mit Sauerstoff gesättigt sind.

c) Eutrophe Seen

Nährstoffreiche, im Tiefenwasser am Ende der Stagnationsperiode sauerstoffarme (0 - 30 % Sättigung), im Oberflächenwasser zeitweise mit Sauerstoff übersättigte Seen mit Sichttiefen von meist unter 2 m und hoher Planktonproduktion.

d) Polytrophe Seen

Seen mit sehr hohem, stets frei verfügbarem Nährstoffangebot; Tiefenwasser schon im Sommer sauerstofffrei mit zeitweiser Schwefelwasserstoffentwicklung; Oberflächenwasser zeitweise stark mit Sauerstoff übersättigt; Sichttiefe sehr gering; Massenentwicklung von Phytoplankton.

Das Kriterium Sauerstoffsättigung vereinfacht die Arbeit wesentlich und ist für überschlägige Untersuchungen brauchbar, jedoch verschleiert es dem Nichtlimnologen die im ganzen doch diffizilen und komplexen Zusammenhänge. Für eine Klassifizierung sind sowohl stoffliche Eigenschaften wie Nährstoffangebot, Sauerstoffgehalt, als auch geomorphologische, hydrologische, meteorologische, physikalische, chemische und biologische Bedingungen zu berücksichtigen.

Eine Erstellung sämtlicher Quellen einer Eutrophierung stößt immer auf Schwierigkeiten. Während sich die punktuell auftretenden Ursachen, die z.B. auf Wohnsiedlungen oder Industrien zurückzuführen sind, ohne Schwierigkeiten feststellen lassen, ist das Problem der diffusen Quellen weitaus komplizierter. Diese Gruppe ist es aber, der die möglichen Eutrophierungsquellen besonders im vorliegenden Fall angehören. Sie sind größtenteils dem Bereich der Landwirtschaft zuzuordnen.

Folgende Substanzen aus dem landwirtschaftlichen Bereich sind im wesentlichen an der Eutrophierung beteiligt:

a) Mineraldünger

b) organischer Dünger, speziell Gülle

c) mit organischem Material und Pflanzennährstoffen belastete Abwässer der Produktionsprozesse.

Diese Stoffe können den natürlichen, durch Boden und Niederschläge bedingten Nährstoffpegel in den Gewässern erhöhen. Dabei ist es ohne Bedeutung, ob die Nährstoffe in den Trägersubstanzen in organischer oder anorganischer Bindungsform vorliegen, da sie nach ihrer Freisetzung im Gewässer prinzipiell gleiche Wirkungen auslösen können.

Die Abbildungen 74 und 75 zeigen den Absatz bzw. die Ausbringung von Pflanzenreinnährstoffen im Kreis Steinfurt. Diese Statistiken (nach Unterlagen der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe) liefern Daten, die über den realen Verbrauch nur einen groben Anhalt geben können, denn Verkaufsstatistiken sind von den verschiedensten ökonomischen Parametern abhängig. Bezogen auf den Münsterländer Kiessandzug dürften die Angaben eher zu niedrig als zu hoch sein.

Eine Beeinträchtigung der Gewässer infolge landwirtschaftlicher Nutzungs- und Düngemaßnahmen kann allgemein auf zwei Wegen erfolgen:

- a) direkter oberflächlicher Eintrag in offene Gewässer. Diese Form des Eintrages läßt sich durch entsprechende Maßnahmen leicht abstellen und fällt bei den Baggerseen im Kiessandzug kaum ins Gewicht, lediglich mehr oder minder intensive fischereiliche Nutzung und der damit verbundenen Fütterung sollte nicht unerwähnt bleiben.
- b) indirekter Nährstoffeintrag durch Auswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden in das Grundwasser, bzw. mit dem Grundwasser in die Oberflächengewässer. Der indirekte Nährstoffeintrag wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst und eine Steuerung ist bis jetzt schwer möglich. Die ausgebrachten Düngemittel sollten vom Boden festgehalten werden und während der Vegetationsperiode den Pflanzen zur Verfügung stehen. Aufgrund der im Boden stattfindenden Austauschvorgänge läßt sich dieser Zustand aber nie erreichen. Die Haftfestigkeit der einzelnen Kationen steigt mit der Wertigkeit und sinkt mit der Größe der Hydrathülle (HARTH 1969:58). Für die Kationen gilt allgemein, daß mit steigender Austauschkapazität die Auswaschungsverluste abnehmen, in Sandböden also größer sind als in bindigen Mineralböden und Moorböden (BADEN et al. 1969:244).

An der Eutrophierung sind in erster Linie die beiden Hauptnährstoffe Phosphor und Stickstoff beteiligt. Sie spielen im aquatischen Medium für die pflanzliche Produktion die gleiche Rolle wie in der Landwirtschaft. In besonders hohem Maße auswaschgefährdet ist *Stickstoff* in Form des Nitrat-Ions, was durch zahlreiche Lysimeterversuche bestätigt wurde (z.B. durch PFAFF 1963:77-99 und VÖMEL 1966:155-188). Der Umfang der Stickstoffauswaschung in den Niederlanden wird von KOLENBRANDER in CZERATZKI (1973:13) mit folgenden Werten beziffert:

Stickstoff-Auswaschung in kg/ha · Jahr:

Kulturart:	Sandböden	Tonböden
Ackerland	75	36
Grünland	13	13

Diese Zusammenstellung unterstreicht den Einfluß von Kultur- und Bodenart auf die Stickstoffauswaschung.

Anders verhält sich der *Phosphor* im Kulturboden. Die physiographischen Eigenschaften der Böden, vor allem der Kalkgehalt, pH-Wert sowie Eisen- und Aluminiumverbindungen regeln die Festlegung der Phosphat-Ionen. Eisen-, Aluminium- und Kalzium-Ionen vermögen je nach Reaktion des Bodens erhebliche Mengen an Al-, Fe-, und Ca-Phosphaten aus den Bodenlösungen auszufällen und schwerlösliche Phosphorminerale zu bilden. Ebenso spielen organische Stoffe, besonders Huminsubstanzen als Chelatoren eine nicht zu unterschätzende Rolle (OHLE 1971:437-456). Nur dort, wo eine Überdüngung mit Phosphaten stattfindet, wird es daher zu starken Auswaschungen kommen. Im Münsterländer Kiessandzug muß man davon ausgehen, daß hohe Düngergaben ausgebracht werden, denn die Podsolböden übertreffen kaum die Bodenzahl 30. Das Phosphat stellt stets bei der Gewässereutrophierung den Initialfaktor dar. Nach OHLE (1965:57-58) erfolgt eine passive Gewässerdüngung nicht nur durch Perkolations- sondern auch durch Erosionsverlust. Bei stark mit Mineraldüngern versorgten Äckern stellte OHLE ein Maximum von 200 µg PO₄ und 350 µg Gesamt-Phosphor im Dränwasser fest. Obwohl die Phosphatkonzentrationen im Verhältnis zu den anderen Inhaltsstoffen relativ niedrig liegen, genügt es, daß sie sich unter natürlichen Bedingungen allem überordnen und eine Produktionssteigerung einleiten, sobald sie ins Gewässer gelangen. Einen weit höheren Anteil an der Phosphordüngung hat die Bodenerosion, wenn die mit phosphatreichen Ton-Humus-Partikeln angereicherten Schwemmwässer in die Seen gelangen. Aufgrund des sehr geringen Gefälles ist das Eintreten dieses Effektes im Arbeitsgebiet nahezu auszuschließen. Eine ähnliche Wirkung könnte jedoch erzielt werden durch die Rückleitung von Kies-Waschwässern in die betreffenden Seen. Möglicherweise wird mit der dauernden Einleitung dieser stark kolloidal getrübbten Wässer ein Neutralisationseffekt erzielt, durch den die Assimilationsgrenze in geringen Tiefen gehalten und damit auch die Produktion von Biomasse gebremst wird. Die Eindringtiefe des Lichtes ist eine Funktion der Einstrahlung, der Trübung und der Färbung des Wassers, die laufenden Schwankungen unterliegen. Als untere Grenze der Eindringtiefe gilt die Wassertiefe, bei der noch 1 % der Globalstrahlen gemessen wird (BENNDORF et al. 1975:19-25).

Die mögliche Verschiebung des ökologischen Gleichgewichtes in Richtung auf eine Überproduktion von Biomasse sollte unbedingt im Auge behalten werden.

In der Vielzahl von Publikationen über diesen Themenkomplex wird oft der Einfluß der Sulfate, die speziell in Kalidüngern und Ammonsulfatdüngern sind, übergangen. Die Sulfat-Ionen stellen in zweifacher Hinsicht wichtige Nährstoffe für die Vegetation des Binnengewässers dar. Unter aeroben Bedingungen als Schwefelspender für

die autotrophe Flora sowie bei Sauerstoffmangel als Wasserstoffakzeptor für die sulfatreduzierenden Bakterien. Die für den Stoffwechsel der Gewässer bedeutsame Phosphatmobilisation wird durch Reduktion der Sulfationen zu Sulfid sowie durch Oxydation des Schwefelwasserstoffes zu Sulfationen verursacht. Sie ist u.a. abhängig von der Reduktionskapazität des Schlammes und führt zu einer starken Eutrophierung (OHLE 1954:28-30).

Abschließend stellt sich die Frage, wie der Eutrophierung wirksam begegnet werden kann. Die wirkungsvollste Vorbeugung wäre das Fernhalten der Pflanzennährstoffe sowie das Anlegen von Dauergrünland-Streifen am Gewässerufer für einen wirksamen Nährstoffrückhalt. Auch die Auswahl zweckmäßiger Fruchtfolgen in der Nähe des Gewässers und eine optimale Technologie der Düngung (z.B. keine Vorratsdüngung sondern verstärkter Einsatz von Blattdüngungen usw.) sind weitere wesentliche Punkte. Wie Lysimeter-Untersuchungen der BASF zeigen, verringert eine zweckmäßige Bepflanzung die Sickerwasser- und Nährstoffverluste erheblich. Als Beispiel sei erwähnt, daß das Rückhaltevermögen an Stickstoff von Getreide über Gemüse und Hackfrucht zu Grünland zunimmt. Die höchsten Auswaschungsraten waren erwartungsgemäß bei Brache zu verzeichnen (JUNG & DRESSEL 1975: 126-132). Im Münsterländer Kiessandzug ist daher bei jeder Flach- oder Tiefentsandung sofortige Rekultivierung geboten.

Ein weiterer wesentlicher Faktor, der besonders den Sauerstoffhaushalt beeinflusst, ist die Beckenform der Gewässer. Ein tiefer See mit steil abfallenden Ufern ist weniger produktiv als ein Flachsee gleichen Volumens. Größe und Tiefe eines Sees entscheiden zusammen mit der Windexposition auch darüber, ob sich die Bioproduktion ganzjährig in einem einheitlichen Wasserkörper hält oder ob sich eine thermische Schichtung ausbildet, die das Gewässer in zwei isolierte Wasserkörper trennt. Das Volumenverhältnis von Epi- zu Hypolimnion entscheidet im wesentlichen über ein aerobes Hypolimnion während der Stagnationsperiode. Nur ein relativ großes Hypolimnion verfügt über einen ausreichend großen Sauerstoffvorrat, um während der Stagnationsperiode alle Abbauprozesse aerob zu vollziehen. Nach KLAPPER (1974:261) darf die Sauerstoffzehrung nicht mehr als 0,07 mg/l betragen, wenn das Hypolimnion aerob erhalten werden soll. Dieses Ziel ist bei einem eutrophen See nicht erreichbar. Es stellt sich die Frage, wie weit ein eutropher See den Sauerstoffhaushalt belasten darf. Der chemische Sauerstoffbedarf sollte bei beginnender Herbstzirkulation auf keinen Fall den Sauerstoffvorrat des Epilimnions so weit aufbrauchen, daß der aktuelle Sauerstoffgehalt unter 3 mg/l absinkt (KLAPPER 1974:261).

Die beste Wasserqualität haben jene tiefen Seen, deren Tiefenwasser auch am Ende der Stagnationsperiode noch aerob bleibt. Bei ihnen werden die mit den abgestorbenen Algen ins Sediment gelangenden Phosphate zu Eisen-III-Phosphat gebunden. Durch diesen Mechanismus widersetzen sich die Seen von selbst der Eutrophierung. Daraus könnte man folgern: Je tiefer das Gewässer, um so günstiger die Auswirkungen auf den Sauerstoffhaushalt. Wie aber aus Abschnitt 2.2 und 3.5 hervorgeht, ist dieser Grundsatz allgemein nicht auf den Kiessandzug anwendbar.

7.2.2. Untersuchungen an Baggerseen im Münsterländer Kiessandzug

Der Münsterländer Kiessandzug wurde in den vergangenen Jahren immer stärker für die Sand- und Kiesgewinnung herangezogen. Durch das Freilegen der Grundwasseroberfläche werden die Baggerseen zur Nährstoff-Falle. Qualitative Veränderungen des Seewassers sind die Folge, da die Gewässer äußeren Einflüssen ausgesetzt sind. Zwölf repräsentativ erscheinende Seen im Münsterländer Kiessandzug wurden im Jahre 1976 einer zweimaligen Messung unterzogen, um ein Gesamtbild des Gütezustandes zu bekommen.

An den Seen wurden folgende chemisch-physikalische Untersuchungen jeweils im Sommer (Stagnationsperiode) und im Herbst (beginnende Zirkulationsperiode) durchgeführt: Temperatur, Sauerstoffgehalt (mit Lovibond-Oxyport 601), Sichttiefe (Seccischeibe), pH-Wert (mit WTWpH 56), Leitfähigkeit (mit WTWLf 54), Karbonathärte, Gesamthärte, Chlorid, Sulfat, Phosphat, Ammonium, Nitrit, Nitrat, Kaliumpermanganatverbrauch (PV), biochemischer Sauerstoffverbrauch (BSB 5), Eisen und Mangan.

Während Eisen und Mangan mit dem Atomabsorptionsspektrometer bestimmt wurden, erfolgte die Untersuchung der anderen Kriterien nach dem deutschen Einheitsverfahren (FACHGRUPPE WASSERCHEMIE 1965). Es wurden Proben an verschiedenen Stellen und aus wechselnden Tiefen von einem Schlauchboot aus mit der "Rüttner-Flasche" entnommen. Die Probennahme und die chemischen Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Staatlichen Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft Münster durchgeführt.

Die einzelnen Analysenergebnisse der untersuchten Baggerseen liegen den in Berlin hinterlegten Originalen der Dissertation bei (Tab.29.1-29.13).

Thermik der untersuchten Baggerseen

Die Temperaturverteilung in Seen läßt sich unter gewissen Vereinfachungen als instationäres, eindimensionales Wärmeleitproblem behandeln. Die Ausbildung einer Sprungschicht kann allein durch den Wärmeaustausch an der Oberfläche durch konvektiven Wärmeübergang, Verdunstung und/oder langwellige Zu- und Abstrahlung einerseits und durch die Absorption von kurzwelliger Sonnenstrahlung im See andererseits erklärt werden (BLOSS-GRIGULL 1974:121-127).

Der Wasserkörper eines Sees führt thermisch bedingte jahreszeitlich sich ablösende vertikale Wasserverlagerungen aus. Seen mit einem zweimaligen Wechsel von Zirkulation und Stagnation im Jahr werden als dimiktisch bezeichnet. Unter holomiktischen Seen versteht man Gewässer, deren gesamte Wassermenge von wenigstens einer Zirkulation pro Jahr erfaßt wird.

In unseren gemäßigten Breiten spielen sich dabei folgende charakteristische Vorgänge ab: Bei einem See mit konstanter Temperatur und einem Dichtemaximum des Wassers im Frühjahr bilden sich während der Sommerperiode drei Temperaturbereiche aus. In einer relativ gleichmäßig temperierten Oberschicht (Epilimnion) steigt die Temperatur bis in den Hochsommer an und fällt dann wieder ab. Auf diese Schicht folgt die Sprungschicht oder das Metalimnion, welches einen mehr oder weniger steilen Temperaturgradienten aufweist. Im unteren Bereich, dem Hypolimnion, fällt die Temperatur mit der Tiefe wieder asymptotisch auf die Ausgangstemperatur des Frühjahrs ab. Mit zunehmender, jahreszeitlich bedingter Abkühlung des Oberflächenwassers wird die gesamte Wassermasse des Sees von der Zirkulation erfaßt und die thermische Schichtung wird durch Homothermie abgelöst. Dieser Zustand der Herbstzirkulation wird im Winter bei weiterer Abkühlung durch die Winterstagnation abgelöst.

Diese Dynamik greift bestimmend in den Ablauf des gesamten Seenhaushaltes ein und ist somit maßgeblich an der Entstehung, Umwandlung und Verteilung organischer und anorganischer Materie beteiligt. Für alle Lebewesen gehört die Temperatur damit zu den entscheidenden abiotischen Umweltfaktoren.

Ergebnisse und Messungen

Die aufgetretenen thermischen Schichtungen gestalten sich bei den verschiedenen Seen (s. Abb. 40) unterschiedlich. Ausschlaggebend dafür sind Tiefe, Flächenausdehnung, Windexposition, Grundwasserzuflüsse und gegebenenfalls Umwälzung des Seewassers durch Baggerbetrieb. Bei fast allen Seen (Ausnahme: Seen Nr. 22-1 und 28-1) zeigten sich Sprungschichten und ein typisches Epilimnion. In den Flachseen Nr. 22-1 und 28-1 endete die Sprungschicht am Seegrund und ein eigentliches thermisches Hypolimnion ist daher nicht vorhanden. Wie ein Teil der Meßergebnisse zeigt, war zum zweiten Meßzeitpunkt noch keine Homothermie als Folge der Herbstzirkulation erreicht.

Sauerstoff

Wenige Faktoren sind so geeignet wie der Sauerstoff, ein Gewässer in seiner Eigenart zu charakterisieren. Durch die Atmung der Flora und Fauna und durch die Fäulnis toter organischer Substanz nimmt die im Wasser gelöste Sauerstoffmenge ständig ab. Diese Verluste werden jedoch in den oberen Wasserschichten durch Absorption aus der atmosphärischen Luft und durch die Sauerstoffproduktion der assimilierenden Pflanzen sowie der Uferzone und des Planktons reichlich ausgeglichen. Besonders der letztgenannte Vorgang ist es, welcher die primäre Sauerstoffquelle unserer Seen bildet und meist eine Übersättigung des Wassers der gut durchlichteten Schichten herbeiführt. In den lichtlosen oder dämmerigen Tiefen dagegen überwiegt die Sauerstoffzehrung, was in den Stagnationsperioden zu einem Sauerstoffschwund führt. In der Zeit der Vollzirkulation gelangt durch die vertikale Wasserbewegung Sauerstoff in die Tiefe, so daß dort annähernd gleich viel Sauerstoff pro Volumeneinheit gelöst ist wie in den übrigen Bereichen. Die Löslichkeit des Sauerstoffes im Wasser ist sehr begrenzt und hängt im einzelnen von der Wassertemperatur und dem Luftdruck ab, sowie von Art und Menge der übrigen gelösten Stoffe. Im Normalfall soll jedes Oberflächengewässer jederzeit so viel gelösten Sauerstoff enthalten, daß Fische und Fischnährtiere noch zu gedeihen vermögen. Der Sauerstoffgehalt darf dann nicht unter 4 mg/l absinken. Sauerstoffkonzentrationen unter 1 mg/l sind für die meisten Fischarten nach kurzer Zeit tödlich. Bei Konzentrationen unterhalb von 0,5 mg/l wird die Stoffwechsellätigkeit der aeroben Mikroorganismen meßbar beeinträchtigt.

Der Sauerstoffgehalt im Epilimnion liegt beim größten Teil der Gewässer des Kiessandzuges während der sommerlichen Stagnationsperiode im Übersättigungsbereich. Dem steht ein starkes Sauerstoffdefizit im Hypolimnion gegenüber (s. Abb. 76 - 83). Der Sauerstoffschwund im Tiefenwasser liegt zum Teil unter 2 mg/l. Bei den Seen Nr. 7, 12, 19 und 28-1 konnte sogar Schwefelwasserstoff nachgewiesen werden. Während sich bei den meisten

Seen in der Stagnationsperiode eine klinograde Kurve ausbildet, tritt bei den Seen Nr. 12 und Nr. 20 eine heterograde Kurve mit einem metalimnischen Sauerstoffmaximum bzw. Sauerstoffminimum in Erscheinung.

Die Beschränkung des Sauerstoffmaximums auf die Sprungschicht zeigt, daß ein Zusammenhang mit der stabilen Schichtung bzw. mit dem Mangel an Austausch vorhanden ist. Wenn innerhalb eines hochgelegenen Metalimnions (im vorliegenden Fall etwa 6 m) noch eine lebhaftere CO_2 -Assimilation auftritt, bei der die Sauerstoffabgabe die Zehrung überwiegt, so muß es zu einer Sauerstoffanreicherung kommen, da eine Abgabe nach oben oder unten während der Stagnationsperiode nicht möglich ist. Es kommt zu einer scheinbaren Übersättigung, da der Wasserdruck in dieser Tiefe eine größere Löslichkeit bedingt.

Obwohl allgemein die Entstehung eines Sauerstoffminimums nicht immer einfach zu interpretieren ist (RUTTNER 1933:401), so dürfte im vorliegenden Fall die Klärung eindeutig sein. Im Baggersee Nr. 20 wird noch Sand und Kies abgebaut und das Waschwasser mit hohen Anteilen an kolloidalen Bestandteilen wird (ohne vorherige Verweilzeit in einem Sedimentationsbecken) wieder in den See geleitet. Durch die unterschiedliche Dichteverteilung des Wassers als einer Funktion der Temperatur kommt es in der Tiefe von 6 - 7 m zu einer Kumulierung oxidierbarer Substanzen. Daraus könnte das angedeutete Sauerstoffminimum hervorgehen. Die Ergebnisse der Herbstmessung zeigen parallel zu den Temperaturkurven, daß sich alle Seen in der Zirkulationsperiode befinden.

pH-Wert

Der pH-Wert ist für die Wasserorganismen ein entscheidender Umweltfaktor. Für die meisten Organismen liegt der optimale pH-Wert zwischen 6 und 8. In diesem Bereich sollen auch die pH-Werte von unbeeinflussten Oberflächengewässern liegen. Die Wasserstoffionenkonzentration ist ein empfindlicher Indikator und läßt neben dem Sauerstoff und der Temperatur bei den Seen des Kiessandzuges ebenfalls eine deutliche Schichtung erkennen. Die pH-Werte nehmen während der Stagnationsperiode mit zunehmender Tiefe ab. In der Zirkulationsperiode bleiben die pH-Werte annähernd konstant (s. Abb. 89-90). Schwankungen des pH-Wertes halten sich in Grenzen und dürften vor allem auf die Photosynthese und die Atmung der aquatischen Primärproduzenten zurückzuführen sein.

Karbonathärte

Die Abbildung 89 gibt die Entwicklung der Karbonat- und Gesamthärte-Schichtung aller untersuchten Seen während der Stagnations- und der beginnenden Zirkulationsperiode wieder. Die Verteilungsmuster in den sommerlichen Vertikalprofilen zeigen im allgemeinen während der Stagnationsperiode mit zunehmender Tiefe einen abnehmenden pH-Wert, dem eine zunehmende Karbonathärte gegenübersteht. Der Bikarbonatgehalt ist in den oberen Wasserschichten infolge der Kalkausfällung (biogene Entkalkung) stets niedriger als in der Tiefe. Dieser Zustand ergibt sich daraus, daß in der trophogenen Schicht infolge Photosynthese der CO_2 -Gehalt abnimmt.

Stickstoffverbindungen

Der Stickstoff tritt im Gewässer in elementarer Form sowie in anorganischen und organischen Verbindungen auf. Den anorganischen Verbindungen des Stickstoffs, Ammonium und Nitrat, kommt für die Stickstoff-Versorgung der Primärproduzenten die Hauptbedeutung zu. Für die photoautotrophen Pflanzen ist das Nitrat eine der wichtigsten Stickstoffquellen. Der Stickstoff-Kreislauf wird bekanntlich in vielfältiger Weise durch die Tätigkeit von Mikroorganismen beeinflusst. Das beim Eiweißabbau frei werdende Ammonium-Ion wird unter aeroben Bedingungen durch Bakterien über Nitrit zu Nitrat oxydiert (Nitrifikation). Bei anaeroben Verhältnissen kann durch bestimmte Mikroorganismen Nitrat zu Ammonium und elementarem Stickstoff reduziert werden (Denitrifikation).

Wie die chemischen Analysen zeigen, ist bei den Seen Nr. 3 und 5 das Nitrat im Hypolimnion reduziert. Das gleichzeitige Auftreten von Ammonium sowie der Sauerstoffschwund im Tiefenwasser kennzeichnen den Denitrifikations-Vorgang. Bei den Gewässern Nr. 10, 11, 12 und 13 konnte weder Nitrat noch Ammonium nachgewiesen werden, was den Schluß zuläßt, daß es von der Flora aufgezehrt wurde. Das Auftreten von Ammonium mit einem starken Anstieg unterhalb der Sprungschicht ist als ein Indiz für eutrophe Verhältnisse zu werten. Die bei den Seen Nr. 3, 4 und 13 gering auftretenden Nitritmengen können als ein relativ unbeständiges Zwischenprodukt des Stickstoffumsatzes von verschiedenen Mikroorganismen angesehen werden.

Chloride

In fast allen natürlichen Wässern sind Chlorid-Ionen in unterschiedlicher Konzentration vorhanden. Durch ihre große Mobilität gelangen sie je nach Bodenbeschaffenheit und Düngemaßnahmen in das Grund- bzw. Oberflächenwasser. Allgemein wird angenommen, daß eine restlose Auswaschung der Chlorid-Ionen stattfindet (PFAFF

1958:93). In allen Seen des Bearbeitungsraumes wurden innerhalb der einzelnen Profile nur geringe Differenzen festgestellt. Chloridkonzentrationen über 200 mg/l traten nie auf. Werte, die diese Marke dauernd überschreiten, hätten zur Folge, daß sich die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft in einem unerwünschten Sinne verschiebt. Dieses Wasser könnte dann auch nicht mehr ohne weiteres zur Trinkwasserversorgung genutzt werden.

Sulfate

Die Sulfate spielen eine wichtige Rolle im Stoffkreislauf eines Sees, denn der Schwefel gehört zu den notwendigen Bausteinen der Organismenzellen. Im einzelnen wird der Sulfatgehalt durch die geologischen und pedologischen Gegebenheiten des Einzugsgebietes bestimmt. Besondere Bedeutung erlangt auch der landwirtschaftliche Sektor. Aus Arbeiten von OTTERMANN-KRZYSC (1965) und MATTHESS (1961) geht hervor, daß die Versorgung der Pflanzen mit Sulfat in den meisten Gebieten allein durch die Atmosphäre gesichert ist. Neben einer direkten Adsorption des Schwefeldioxides aus der Luft bringt nach SCHARER-FAST (1951:97), jeder Liter Niederschlag etwa 4,5 und 39,6 mg SO_4 in den Boden.

Die wichtigsten Umwandlungsprozesse des Schwefels im See sind:

- a) Sulfat wird von den Desulfurikanten zu Schwefelwasserstoff und Sulfiden reduziert (anaerober Vorgang), die im Sediment abgelagert werden
- b) durch mikrobiellen Abbau entstehender Schwefelwasserstoff kann unter aeroben Verhältnissen von Sulfurikanten über Schwefel zu Sulfat oxidiert werden (SCHWOERBEL 1974:76-77).

Eine Schichtung der Sulfate bildet sich andeutungsweise bei einigen Gewässern aus. Es zeichnet sich bei den Seen Nr. 28-1 und 19 in der Stagnationsperiode eine Sulfatreduktion im Tiefenwasser mit der damit verbundenen Anreicherung von Schwefelwasserstoff ab. Wie auch RUTTNER (1962:110) allgemein feststellte, sind bei der Mehrzahl der Seen jedoch keine Schichtungen vorhanden, denn der Verbrauch der Pflanzen ist im Vergleich zur gelösten Menge meistens gering.

Phosphate

Verbindungen des Phosphors sind ein nie fehlender Bestandteil der pflanzlichen und tierischen Substanz. In Seen ist der Phosphor in drei Modifikationen enthalten: anorganisch gelöstes Phosphat (Orthophosphat und Polyphosphat), organisch gelöstes Phosphat und organisches partikuläres Phosphat (Organismen oder Detritus). Der Phosphor ist im Vergleich zum Stickstoff der bedeutendere produktionsbegrenzende Faktor für die Primärproduktion.

Eine Phosphatbestimmung wurde nicht bei allen Seen durchgeführt, so daß von einem Vergleich abgesehen werden muß. Die untersuchten Baggerseen zeigen allgemein in den Vertikalprofilen relativ starke Unterschiede, die im Bereich zwischen 1,0 und 0,001 mg/l liegen. Die unterhalb der Nachweisgrenze liegenden Konzentrationen an Phosphat im Epilimnion waren während der Stagnationsperiode zum Teil durch die Aufnahme des Planktons bedingt. Anreicherungen zeigten sich zum Teil im Hypolimnion, an der Grenze zum anaeroben Bereich. Eine Erklärung dazu gibt EINSELE (1936:664-685). Im Hypolimnion wird Phosphat unter Sauerstoffzutritt an das Sediment gebunden oder als Eisenphosphat ausgefällt. Unter völligem Sauerstoffabschluß tritt Reduktion von Eisen III zu Eisen II ein, wobei das Phosphat mit dem Eisen II in Lösung geht.

Eisen und Mangan

Eisen und Mangan sind für den pflanzlichen Stoffwechsel von Bedeutung. Besonders das Eisen muß als essentielles Spurenelement angesehen werden. In den Gewässern werden Konzentration und Art des Auftretens von Eisenverbindungen vor allem durch die physikalischen und chemischen Gegebenheiten des jeweiligen Milieus bestimmt. In Lösung bleibt Eisen nur unter Reduktionsbedingungen in zweiwertiger Verbindung. Eisen war während der Stagnationsperiode vor allem im Hypolimnion der Seen zu erwarten. Wie die Analysen zeigen, wurden verhältnismäßig hohe Konzentrationen erreicht. Bei einsetzender Zirkulation trat, wie erwartet, ein Ausfällungsprozeß ein, was in den Analysen in Form von reduzierten Konzentrationen oder nur Spuren zu erkennen ist.

Das Mangan verhält sich im wesentlichen wie das Eisen, doch weist der Ablauf analoger Reaktionen fast immer mehr oder minder graduelle Verschiedenheiten auf. Mangan ist leichter reduzierbar und schwerer oxidierbar. Diese Unterschiede machten sich bei der Herbstmessung teilweise bemerkbar; im Verhältnis zum Eisen waren die Konzentrationsunterschiede kleiner.

Kaliumpermanganatverbrauch - Biochemischer Sauerstoffverbrauch

Kaliumpermanganatverbrauch (PV), biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB₅) und Sauerstoffgehalt eines Gewässers

stehen in enger Beziehung zueinander. Die Bestimmung des PV kann man nur als ein summarisches Verfahren bezeichnen, an Hand dessen die Oxydierbarkeit der Stoffe bestimmt wird. Obwohl dieses Verfahren einen schnellen Überblick über die organische Belastung erlaubt, werden einige organische Verbindungen nur unvollständig erfaßt. Oxydierbare anorganische Stoffe können jede Analyse beeinflussen. Dem biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB) kommt als Maßstab für den Gehalt des Wassers an biologisch abbaubaren Stoffen große Bedeutung zu. Vielfach wird darauf hingewiesen, daß sich die Untersuchungsbedingungen weit von den Gegebenheiten natürlicher Gewässer entfernen. Das gilt vor allem für die Temperatur- und die Belichtungsverhältnisse (KNÖPP 1965:17-23).

Bei den Untersuchungen während der Stagnationsperiode erwiesen sich die PV-Werte etwas höher als bei den Herbstmessungen, was auf die Planktonproduktion zurückzuführen ist. Damit finden auch die teilweise erhöhten Werte im Epilimnion eine Erklärung. Die sich abzeichnenden umgekehrten Relationen der Anfang November durchgeführten Untersuchungen sind zu begründen durch die reduzierte Planktonproduktion in dieser Jahreszeit und der erhöhten Zersetzung im Tiefenwasser. Nicht unerwähnt sollen die Analysenwerte der Sommermessung des Baggersees Nr. 16 bleiben, mit Werten > 35 mg/l PV. Diese Höhe war zu erwarten, da sich bei diesem See noch der Einfluß eines Mooregebietes bemerkbar machte.

Die Beziehung BSB_5 zum Sauerstoffgehalt des Seewassers stellte sich bei einem Teil der Baggerseen während der Stagnationsperiode durch Zunahme der Werte mit der Tiefe ein.

Ein unterschiedliches Bild ergibt sich bei den *Ergebnissen der Herbstuntersuchung*, die teilweise wie beim Kaliumpermanganat-Verbrauch ein umgekehrtes Bild ergaben. Speziell bei den Herbstuntersuchungen kommt die Verflechtung der verschiedensten Einflußgrößen zum Ausdruck. Der Sauerstoffverbrauch der aeroben Bakterien, notwendig für ihren Stoffwechsel und damit für ihre Mittlerrolle beim oxydativen Abbau der organisch zersetzbaren Stoffe (BSB), ist im wesentlichen abhängig von Art und Menge der organischen Substanzen (Anzahl, Art und Zustand der Mikroorganismen; hydraulische Kerngrößen des Gewässers, pH-Wert und wie auch schon erwähnt, Temperatur- und Belichtungsverhältnisse). Diese Faktoren können auch als Parameter der biochemischen Abbaugeschwindigkeit zusammengefaßt werden (BRIX 1963:109).

Sichttiefermessung

Obwohl Sichttiefermessungen mit der Secchi-Scheibe allgemein brauchbare Unterlagen für die Gütebeurteilung von Seen liefern, wurde ein Vergleich bei den Seen des Arbeitsgebietes nicht durchgeführt, da die Rückleitung von Waschwässern aus der Kiesgewinnung keine einheitlichen Voraussetzungen zuläßt. Das einzige erwähnenswerte Kriterium, das allen Seen gemeinsam war, bestand in der reduzierten Sichttiefe der Herbstmessungen, hervorgerufen durch die sich in Zirkulation befindlichen Wassermassen.

Zusammenfassung

Durch das Freilegen der Grundwasser Oberfläche werden die Baggerseen zur Nährstoff-Falle. Qualitative Veränderungen des Seewassers sind die Folge, da die Gewässer vielen äußeren Einflüssen ausgesetzt sind. Eine regelmäßige Untersuchung aller Seen, die im Einzugsbereich von Wasserwerken liegen, sollte in Abständen von den zuständigen Behörden durchgeführt werden. Die Situation am Wasserwerk Sendenhorst (nahe dem See Nr. 28-1) im Jahre 1958, als man zwei Förderbrunnen stilllegen mußte, war eine erste Warnung — nicht nur an die Wasserwirtschaft — dem Problem Entsandung, Rekultivierung und Seen-Alterung (Eutrophierung) noch mehr als bisher Beachtung zu schenken. Eine Situation wie im Jahre 1958 in Sendenhorst kann sich in Zukunft auch an anderen Stellen im Münsterländer Kiessandzug wiederholen.

Die dargestellten Ergebnisse können natürlich nur überschlägigen Charakter haben. Mehrere Jahre wären nötig, um besonders den biologischen Verhältnissen qualitative und quantitative Untersuchungen zu widmen.

8. KONKURRIERENDE NUTZUNG DES MÜNSTERLÄNDER KIESSANDZUGES

Der Münsterländer Kiessandzug hat für die öffentliche Wasserversorgung große Bedeutung, die in der Zukunft noch an Gewicht gewinnen wird. Daneben wird der Kiessandzug in erheblichem Maße durch Flach- und Tiefentsandungen ausgebeutet. Eine Kollision der gegensätzlichen Interessen blieb daher nicht aus und manifestierte sich in einer Vielzahl von Gerichtsverfahren.

8.1. Abgrabungen von Sand und Kies

Es hat sich im Laufe der Jahre gezeigt, daß mangelnde oder fehlende Planung sowohl bei Behörden als auch bei Unternehmern zu einem zerrissenen und zusammenhanglosen Abbau mit all seinen negativen Folgeerscheinungen (wilde Mülldeponien, Schrotthaufen von verlassenen Förderanlagen usw.) geführt haben. Das Ergebnis ist eine "Mondkraterlandschaft" aus Tiefentsandungen (Naßbaggerung) und Flachentsandungen (Trockenbaggerungen). Die Abb. 40 gibt einen Überblick der gesamten Ausgrabungen von Sand und Kies im Münsterländer Kiessandzug.

Bis jetzt reichten die einzelnen Rechtsvorschriften aus dem Bundesbaugesetz, dem Wasserhaushaltsgesetz, dem Reichsnaturschutzgesetz, dem Bergrecht (Sylvester-Verordnung), der Bauverordnung des Landes, dem Wassergesetz und dem Forstgesetz nicht aus, die verursachten Landschaftsschäden auf ein vertretbares Maß zu beschränken. Ob das am 21.11.1972 beschlossene Abtragungsgesetz die gestellten Erwartungen erfüllen wird und auch kann, ist zweifelhaft. Als Beispiel seien nur drei Punkte aufgeführt:

- a) Abgrabungen, die der Aufsicht der Bergbehörde unterliegen, werden durch dieses Gesetz nicht berührt (§ 1 (3)).
- b) Ordnungswidrigkeiten können maximal nur mit einer Geldstrafe bis zu 100.000,-- DM geahndet werden (§ 13 (2)), was sich schnell wieder erwirtschaften läßt.
- c) Die Praxis hat gezeigt, daß die Überwachung der Bestimmungen unzureichend gewesen ist, was auch zu dem gegenwärtigen Zustand geführt hat. In Zukunft wird sich wahrscheinlich auch daran nicht viel ändern, wenn in Richtung Kompetenzen und Koordinierung nicht neue Wege beschritten werden.

8.2. Wasserwirtschaft

Die Bedeutung, die dem Schutze der Landschaft gebührt, wird noch übertroffen von der Wichtigkeit, die der Wasserwirtschaft zukommt. Starke Beeinträchtigungen der Wasserqualität sind bisher erst beim Wasserwerk Sendenhorst zu verzeichnen gewesen, aber bei allen anderen Wasserwerken des Kiessandzuges für die Zukunft nicht auszuschließen. Eine qualitative Beeinträchtigung des Grundwassers ist immer bei Tiefentsandungen gegeben, die als Nährstoff-Fallen anzusehen sind. Es spielt dabei überhaupt keine Rolle, ob der entstandene "Grundwassersee" in der Schutzzone eines Wasserwerkes oder weit ab davon entfernt liegt. Es muß mit Nachdruck betont werden, daß der gesamte Kiessandzug als Grundwasservorkommen für das Kernmünsterland an Wichtigkeit für die Wassergewinnung noch zunehmen wird, wenn man von den Bedarfsanalysen an Trink- und Brauchwasser für das Jahr 2000 ausgeht (vgl. Studie des BATTELLE-INSTITUTS 1972). Dadurch werden auch Abschnitte des Kiessandzuges interessant werden — z.B. für eine unterirdische Grundwasserspeicherung — deren wasserwirtschaftliche Bedeutung im Augenblick noch nebensächlich erscheint.

Für die Industrie der Steine und Erden darf es jedoch keine Alternativen mehr im Gesamtbereich des Münsterländer Kiessandzuges geben, denn der Gesamtbereich muß als wasserwirtschaftliche Vorrangfläche angesehen werden. Darunter ist z.B. zu verstehen, daß die Einstellung einer Entsandung in der weiteren Schutzzone eines Wasserwerkes als Resultat eines Kompromisses, der eine Abtragungsgenehmigung in einem Ersatzgebiet im Kiessandzug beinhaltet, abgelehnt werden muß. Eine Beeinträchtigung dieser Art kann zukünftigen Planungen für die Grundwassererschließung die Grundlage entziehen. Auch muß entschieden einer Ausdehnung der Abgrabungen nach der Tiefe zu widersprochen werden, da der effektive Porenraum dieser Lockergesteine generell mit zunehmender Teufe ansteigt. Die Konsequenzen wären höhere Fließgeschwindigkeiten und verminderte Filterwirkung.

Dieselbe Problematik, die ungleich schwerer in ihren Auswirkungen sein kann, da man schnell die wahren Gegebenheiten unterschätzt, gilt für die Flachentsandungen. Bei den Flachentsandungen (s. Abb. 40) ist zwar der Grundwasserspiegel nicht angeschnitten, aber der Flurabstand beträgt teilweise nur noch weniger als 2 - 3 m. Das bedeutet, daß das Reinigungsvermögen der Sedimente auf ein Minimum zurückgeht. Eine sinnvolle Rekultivierung, die selbstverständlich den Wiederauftrag des Mutterbodens beinhalten muß, kann dabei keinesfalls als Optimallösung angesehen werden. Der einmal entstandene Schaden ist irreversibel, wenn man davon ausgeht, daß eine Wiederauffüllung mit adäquatem Material aus Kostengründen entfällt. Eine entscheidende Bedeutung kommt hierbei dem gestörten Bodenleben zu, dessen Vielfalt in den

primär sandig-kiesigen Sedimenten des Bearbeitungsraumes schon reduziert ist.

Nach GOLWER, MATTHESS & SCHNEIDER (1970:61-90) werden ins Grundwasser gelangte Verunreinigungsstoffe hauptsächlich aufgrund der folgenden Vorgänge eliminiert:

- a) Verdünnung
- b) Adsorption und Ionenaustausch
- c) Chemische Ausfällung
- d) Mikrobieller Abbau.

Für den Kiessandzug bedeutet das, daß der Abbau von Verunreinigungen bei den Punkten b) und d) eingeschränkt ist, was sich auch deutlich bei der Auswertung der Wasseranalysen ergeben hat. Schließlich sei an dieser Stelle noch einmal auf die Auswaschungsraten der durch Düngung zugeführten Pflanzennährstoffe hingewiesen, die unter dem Einfluß der Wasserbewegung im Boden verlagert werden.

Die Düngung ist nur als Beispiel anzusehen, denn die Mobilisation trifft fast ausnahmslos für alle Schadstoffe zu, die in der Lage sind, das Grundwasser zu verunreinigen. Bei geringer Menge an Sickerwasser verbleiben die Nährstoffe im Wurzelbereich der Pflanzen, bei größeren Mengen werden sie in tiefere Horizonte bzw. ins Grundwasser überführt. Man spricht dann von "Nährstoffauswaschung". Eine Abnahme der Auswaschung ist bei steigendem Gehalt der Böden an Ton, Schluff, organischer Substanz und der Erhöhung der Feldkapazität zu verzeichnen. Der Umfang der Auswaschung von Nährstoffen ist aber nicht nur abhängig von der Sickerwassermenge, sondern auch von der Menge der Nährstoffe, von der Bindungsstärke am Austauscher, der Löslichkeit seiner Salze und bei organischen Verbindungen von der Resistenz gegenüber dem mikrobiellen Abbau. Der Bezug zu den Böden und geologischen Formationen des Kiessandzuges ist einfach und bedarf keiner eingehenden Erläuterungen mehr (vgl. Abschnitt Bodenkunde).

Zusammenfassend ist aus diesen Fakten zu folgern, daß in den Flachensandungen — die nach Einstellung des Sand- bzw. Kiesabbaues größtenteils wieder intensiv landwirtschaftlich genutzt werden — durch Düngung die Pflanzennährstoffe noch schneller in das Grundwasser gelangen und so auch zwangsläufig in die Baggerseen. Eutrophierung und andere Folgeerscheinungen sind die Folge. Bei allen Überlegungen ist bis jetzt ein Punkt noch nicht zur Sprache gekommen, dessen Auswirkungen unabsehbare Folgen haben können, nämlich die Belastung des Grundwassers durch Pestizide. Ein Nachweis der verschiedenen im Handel befindlichen Produkte ist möglich, aber mit großem Aufwand verbunden. Obwohl z.B. DDT aus dem Verkehr gezogen wurde, ist die Unschädlichkeit der Nachfolgeprodukte hinsichtlich ihrer Langzeitwirkung auf den menschlichen Organismus noch nicht geklärt. Der Abbau dieser Substanzen ist weitgehend vom Fluorabstand (Bodenpassage) und der Absorptionsfähigkeit des Bodens abhängig.

8.3. Sonstige Interessen

Entgegen der Ansicht mancher Landschafts- und Städteplaner bedeutet jede Veränderung auf dem Münsterländer Kiessandzug eine Beeinträchtigung der vorrangigen Interessen der Wasserwirtschaft. Das Hauptproblem liegt hier nicht in der Planung und den theoretisch zu erwartenden positiven Gesichtspunkten, sondern in der unzulänglichen Einhaltung von Auflagen, die dann im Laufe der Zeit bestimmend wird und eine starke Beeinträchtigung darstellt.

Die folgenden Punkte sollen einen Eindruck möglicher Beeinträchtigungen bei Ausweitung oder Neuschaffung von Nutzungsmöglichkeiten im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges geben.

- a) Jede Erweiterung der Siedlungsflächen bringt eine Ausweitung des Verkehrsnetzes mit sich, was der Errichtung von wirkungsvollen Schutzzonen Grenzen setzt.
- b) Eine Erhöhung des Freizeitangebotes ist immer begrüßenswert, aber die Errichtung von Campingplätzen und Badeanstalten stellt die Träger u.a. vor das große Problem, wie man Verschmutzungen und Verunreinigungen jeder Art begegnen kann. Bei der Größe mancher Wasserflächen dürften Reglementierungen von geringem Wert sein, da eine wirkungsvolle Überwachung von den zuständigen Ordnungsbehörden nur mit sehr großem Aufwand gewährleistet werden könnte. Hierbei darf auch die Beeinträchtigung der Wasserqualität durch die Nutzung der Seen durch Anglervereine nicht unerwähnt bleiben, da die Fischfütterung und Teichdüngung der Eutro-

phierung in hohem Maße Vorschub leistet.

Die Erhebung des Münsterländer Kiessandzuges zum Naturschutz- bzw. Landschaftsschutzgebiet scheint eine Möglichkeit zu sein, um schädliche Einflüsse und deren Auswirkungen auf die Wasserqualität zu unterbinden oder so zu reduzieren, daß die Selbstreinigungskraft des Wassers ausreicht, die Verschmutzungsstoffe abzubauen. Eine eingehendere Bearbeitung dieses Themas wäre notwendig und könnte von beispielhaftem Wert sein.

9. VORSCHLÄGE UND MÖGLICHKEITEN EINER INTENSIVEREN WASSERWIRTSCHAFTLICHEN NUTZUNG IM MONSTERLÄNDER KIESSANDZUG

Die Prognose des Wasserbedarfs in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2000 zeigt insgesamt folgende Wachstumsraten (BATTELLE-INSTITUT 1972:192):

Zeitabschnitt:	1975/1980	1980/1985	1985/2000
Zuwachs (% pro Jahr):	1,1	1,2	1,7

Diese Angaben sind natürlich mit Unsicherheiten behaftet; die Gesamtwerte des Wasserbedarfs dürften eher zu hoch als zu niedrig angesetzt sein, so daß für zukünftige Planungen ein Sicherheitsfaktor einbezogen ist (BATTELLE INSTITUT 1972). Die derzeitige Zuwachsrate der Wassergewinnung im Münsterländer Kiessandzug läßt die Grenzen einer weiteren Expansion bereits sichtbar werden. Dies findet z.B. seinen Niederschlag im geplanten Ausschluß der Gemeinden Altenberge und Nordwalde aus dem Verbund mit der Stadt Borghorst-Burgsteinfurt. An dieser Stelle muß auch nochmals der Fremdbezug der Stadt Münster von der Gelsenwasser AG erwähnt werden, obwohl die Stadt Münster die Möglichkeit zur künstlichen Grundwasseranreicherung schon intensiv wahrnimmt.

Wie die Wasserbilanz andeutet, müssen Verfahren angewendet werden, die auch in fernerer Zukunft die Gewähr bieten, den Bedarf zu decken, wenn man sich nicht in die Abhängigkeit kommerzieller Wasserversorgungsunternehmen begeben möchte.

Durch die vorhandenen Abgrabungen sind der Wassergewinnung schon jetzt enge Grenzen gesetzt, die in die Planung mit einbezogen werden müssen, um aus den Gegebenheiten noch einen Nutzen zu ziehen. Für mögliche zukünftige Vorhaben ist eine Wassergewinnung ohne künstliche Anreicherung nur noch im Bereich zwischen den Wasserwerken "St.-Arnold" und "Neuenkirchen" (bereits in Planung) und im Raum Vosskotten (MTB GREVEN 3911) bei den Gehöften Hilsing-Schulze-Westerode, sowie im Bereich Brennheide (Gehöft Schulze-Lintel, MTB EMSDETTEN 3811) möglich. Die förderbare Wassermenge dürfte schätzungsweise an allen Lokalitäten bei $0,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ liegen (vgl. LOTZE 1950).

Für die Stadt Rheine und die Gemeinden Nordwalde-Altenberge würde das zu einem bestimmten Zeitpunkt einen Engpaß schließen. Damit wären jedoch die Kapazitäten des Kiessandzuges weitgehend erschöpft. Neue Technologien müßten dann zum Einsatz kommen, deren Kosten zwar nicht vergleichbar sind mit den derzeitigen Investitionen, dafür aber auch für die fernere Zukunft die Gewähr bieten, den Wasserbedarf voll abzudecken.

Am erfolgversprechendsten scheint eine künstliche Grundwasseranreicherung nach einem etwas modifizierten System der Dortmunder Stadtwerke AG zu sein, das in der Lage ist, weitgehend allen Schwierigkeiten Rechnung zu tragen. Auf eine Beschreibung des Verfahrens wird hier verzichtet, denn es ist aus der Fachliteratur hinreichend bekannt (z.B. HOLTSCHULTE 1966). Das einzige Problem liegt in der Beschaffung des Infiltrationswassers. Hierfür kommen in erster Linie nur die größeren Vorfluter wie Ems, Steinfurter Aa, Vechte und der Dortmund-Ems-Kanal in Frage. Hier könnten z.B. Hochwässer abgezweigt und gespeichert werden, so daß sie in Wassermangelzeiten verfügbar sind. Ein System von Infiltrationsbecken und Entnahmefrühen, über den gesamten Kiessandzug verteilt, könnte den Bearbeitungsraum einschließlich der Nachbargebiete von jedem Wasserfremdbezug unabhängig machen.

10. SCHLUSSWORT

Die sinnvolle Bewirtschaftung des Wassers auf allen Gebieten ist eine Grundvoraussetzung für geordnete Lebensverhältnisse. Wasserwirtschaft betreiben heißt: Großräumig denken, umfassend und weitschauend planen, rationell und wirkungsvoll organisieren (TRÜSCHER 1968).

Dem Münsterländer Kiessandzug wurde bisher in dieser Hinsicht zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Man kann davon ausgehen, daß das Gesamtbild bei einer noch eingehenderen Bearbeitung — zum Beispiel in Form eines wasserwirtschaftlichen Rahmenplanes — weitaus ungünstiger ausfallen würde, als es sich dem Betrachter jetzt darstellt.

Eine Lösung bietet sich in der Gründung eines Wasser- und Bodenverbandes an, in dem die konkurrierenden Interessen am Münsterländer Kiessandzug zum Wohle der Wasserwirtschaft ausgeglichen werden. Vorbilder gibt es in allen Bundesländern und die Erfolge sprechen für sich. Als Beispiel seien der "Zweckverband Oberhessischer Versorgungsbetriebe" und der "Ruhrtalesperrenverein" genannt.

11. DANKSAGUNG

Ein erstes Wort des Dankes möchte ich Herrn Prof. Dr. E. KLITZSCH, Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Universität Berlin, für seine stete Hilfsbereitschaft und Betreuung der Arbeit aussprechen. Auch gilt mein Dank Herrn Ltd. RD. Dr. G. SIEBERT und Herrn RD. Dr. H. KALTHOFF von der Landesanstalt für Wasser und Abfall NW in Krefeld.

Anregungen und wertvolle Hinweise erhielt ich von Herrn Dipl.-Geol. D. WYRWICH.

Bei der Auswertung des Satellitenbildes war mir Herr Dr. Ch. GERLACH behilflich.

Herr cand.geol. MOHAJER unterstützte mich bei der Geländearbeit.

Bei den Korrekturen der verkleinerten Abbildungen half mir FrI. B. DUNKER (TU Berlin). Die Fotoarbeiten (Verkleinerungen) führte dankenswerterweise Herr B. KLEEBERG (TU Berlin) aus.

Folgende Behörden, Wasserwerke und Firmen stellten mir die nötigen Unterlagen zur Verfügung:

DEUTSCHER WETTERDIENST, Essen
GELSENWASSER AG, Gelsenkirchen
GERMANIA BRAUEREI, Münster
GEOLOGISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT MÜNSTER
GEOLOGISCHES LANDESAMT NW, Krefeld
HYGIENISCH-BAKTERIOLOGISCHES LANDESUNTERSUCHUNGSAMT
HYGIENE-INSTITUT DER UNIVERSITÄT MÜNSTER
JOSEF KÖNIG INSTITUT, Münster
LANDWIRTSCHAFTSKAMMER WESTFALEN-LIPPE, Münster
LANDESANSTALT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG NW
LANDESANSTALT FÜR WASSER- UND ABFALL NW, Krefeld
PREUSSAG AG, Ibbenbüren
REGIERUNGSPRÄSIDENT MÜNSTER
STAATLICHES AMT FÜR WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFT, Münster
STADTWERKE MÜNSTER
STADTWERKE OCHTRUP
STADTWERKE RHEINE
UNTERE WASSERBEHÖRDE DES KREISES STEINFURT
WASSERWERK BORGHORST-BURGSTEINFURT GMBH
ZENTRALSTELLE FÜR GEO-PHOTOGRAMMETRIE, München

Die vorliegende Arbeit ging aus einem Auftrag der Landesanstalt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen hervor. Der Titel lautete: "Wasserwirtschaftliche Gesamtdarstellung des Münsterländer Kiessandzuges".

Die wasserwirtschaftliche Gesamtdarstellung des Münsterländer Kiessandzuges umfaßte neben der Sammlung aller vorhandenen Unterlagen auch eine Auswertung im Sinne einer überregionalen Bewirtschaftung und Sicherung des Grundwasserdangebotes nach Menge und Beschaffenheit. Diese Arbeiten wurden in den Jahren 1975/1976 durchgeführt und kamen im März des Jahres 1977 zum Abschluß.

12. SCHRIFTENVERZEICHNIS

- ARNOLD, H., BODE, H. & WORTMANN, H. (1960): Erläuterungen zu Blatt C 4310 Münster. — Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:100 000: 324 S., 29 Abb., 10 Tab., 4 Taf.; Krefeld
- ARNOLD, H. (1964): Die Kreide Westfalens. Fazies und Mächtigkeit der Kreidestufen im Münsterländer Oberkreidegebiet. — Geol. Rheinld. u. Westf., 7: 599-610, 3 Abb., 1 Taf.; Krefeld
- AXT, G. (1963): Mischwasser und Kalkaggressivität. — Vom Wasser, 35: 423-439; Weinheim
- BAECKER, P. (1963): Ober altpleistozäne Flußbrinnen und einige andere Probleme des Pleistozäns im Münsterland. — N. Jb. Geol. Paläontol., Abh., 117: 59-88, 10 Abb., 2 Taf.; Stuttgart
- BADEN, E. & KUNTZE, H. (1969): Bodenkunde. — 430 S., 144 Abb., 10 Taf.; Stuttgart (Ulmer)
- BATTELLE INSTITUT (1972): Prognose des Wasserbedarfs in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2000. — 211 S.; Frankfurt
- BAUMANN, H. (1965): Über das Verhalten oberflächennahen Grundwassers. — Deutsche Gewässerkundl. Mitt., Sonderh.: 39-45; Koblenz
- BENNDORF, U. (1975): Die Funktion der Vorsperren zum Schutz der Talsperren vor Eutrophierung. — Wasserwirtschaft - Wassertechnik, 25: 19-26, 10 Abb., 5 Tab.; Berlin
- BEYER, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve. — Wasserwirtschaft - Wassertechnik, 6: 165-168, 7 Abb., 3 Tab.; Berlin
- BLOSS, N. & GRIGULL, H. (1974): Temperaturverteilung in Seen. — Wasser- u. Abwasserforschung, 4: 121-127, 6 Abb.; München
- BLÜTHGEN, J. (1966): Allgemeine Klimageographie. — 2. Aufl.: 720 S., 189 Abb., 9 Tab.; Berlin (De Gruyter)
- BOLSENKÖTTER, H. (1974): Tracerversuch im Einzugsgebiet des Wasserwerkes St.-Arnold der Stadtwerke Rheine (unveröff.). — Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen: 9 S.; Krefeld
- " — (1975): Sachverständigengutachten in dem verwaltungsgerichtlichen Verfahren der Fa. H. Köhler, St.-Arnold, gegen den Oberkreisdirektor des Kreises Steinfurt (unveröff.) — Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen: 11 S.; Krefeld
- BRIX, J., HEYD, G. & GERLACH, M. (1963): Die Wasserversorgung. — 642 S., 370 Abb.; München (Oldenbourg)
- CZERATZKI, W. (1973): Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. — Landbauforschung Völkenrode: 1-18; Braunschweig
- DEUTSCHER GRUNDWASSERAUSSCHUSS (1961): Grundwasserrichtlinien für Beobachtungen und Auswertung. — 61 S.; Hannover
- DEUTSCHER VEREIN DER GAS- UND WASSERFACHLEUTE (1975): Eignung von Oberflächenwasser als Rohstoff für die Trinkwassergewinnung. — Arbeitsblatt W 151 des DVGW: 15 S.; Eschborn
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1960): Klima-Atlas Nordrhein-Westfalen. — 77 Kten., 10 Taf.; Offenbach
- DUBBER, H.J. (1973): Erläuterungen Bodenkarte "Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Obere Ems". — Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen: 2 S.; Krefeld
- DVORAK, J. (1959): Bestimmung des Oberflächenabflusses von geeigneten Bodenflächen. — Deutsche Gewässerkundl. Mitt., 4: 74-78, 8 Abb., 1 Tab.; Koblenz
- EINSELE, G. (1975): Eichung von Grundwasserganglinien zur Bestimmung der Grundwasserneubildung und des Grundwasserabflusses. — Z. deutsch. geol. Ges., 126: 293-315, 7 Abb., 1 Tab.; Hannover
- EINSELE, W. (1936): Über die Beziehung des Eisenkreislaufes zum Phosphatkreislauf in eutrophen Seen. — Archiv für Hydrobiologie: 664-686; Stuttgart
- FACHGRUPPE WASSERCHEMIE (1960): Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. — 3. Aufl. (Loseblattsammlung); Weinheim
- FRIEDRICH, R. (1976): Limnologische Gutachten, Tiefenentsandung Köhler-Knoche, St.-Arnold/Neuenkirchen (unveröff.). — Landesanstalt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen: 6 S.; Krefeld
- GERLACH, CH. (1977): Grundwasserzirkulation und Grundwasserverschmutzung zwischen oberer Lahn und Westerwald. — Diss. TU Berlin: 151 S.; Berlin
- GOLWER, A., MATTHES, G. & SCHNEIDER, W. (1970): Selbstreinigungsvorgänge im aeroben und anaeroben Grundwasserbereich. — Vom Wasser, 37: 61-90; Weinheim

- GUENTHER, R. (1972): Remote Sensing in der Geologie. — Forschungsbericht W 72 - 28, Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft: 212 S., 93 Abb., 17 Tab.; Clausthal
- HALLENBACH, D. (1960): Geoelektrik Münsterland II (unveröff. Gutachten). — Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung; Hannover
- HARTH, H. (1969): Der Einfluß von Land- und Forstwirtschaft auf den Grundwasserchemismus. — Deutsch. Gewässerkundl. Mitt., Sonderh.: 58-62; Koblenz
- HEMPEL, L. (1974): Einführung in die Physiogeographie - Klimageographie. — 430 S., 79 Abb.; Wiesbaden
- HESEMANN, J. (1968): Zur Charakteristik des Münsterländer Abbruches. — Decheniana, 119: 183-189, 2 Abb., 1 Tab.; Bonn
- HESEMANN, J. (1975): Geologie Nordrhein-Westfalen. — 416 S., 112 Tab.; Paderborn (Schöning)
- HINZ, E. (1972): Vergleichende Auswertung langjähriger chemischer Untersuchungsbefunde der Wasserwerke Ochtrup und Ahlntel im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges. — Diss. med. Univ. Münster: 114 S.; Münster
- HOLTSCHULTE, H. (1966): Praktische Gesichtspunkte und Erfahrungen beim Bau von Anlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung und Wasserfassungen im Ruhrtal. — Künstliche Grundwasseranreicherung, 9: 141-152, 8 Abb.; Dortmund
- HÜLL, K. (1966): Wasser. — 5. Aufl.: 423 S., 24 Abb.; Berlin (De Gruyter)
- HOSIUS, A. (1860): Beiträge zur Geognosie Westphalens. — Z. deutsch. geol. Ges., 12: 48-96, 1 Taf.; Berlin
- HOYER, P. & TEICHMÖLLER, R. (1969): Die tektonische Entwicklung des Steinkohlengebirges im Münsterland und Ruhrgebiet. — Z. deutsch. geol. Ges., 119: 549-552, 1 Taf.; Hannover
- JUNG, I. & DRESSEL, I. (1977): Lysimeterversuche über den Einfluß der Bodennutzungsart und Düngung auf die Höhe der Einwaschung von Pflanzennährstoffen. — BASF-Mitteilungen für den Landbau: 126-132, 4 Abb., 2 Tab.; Limburgerhof
- KELLER, G. (1952): Beiträge zur Frage Oser und Kames. — Eiszeitalter und Gegenwart, 2: 127-132, 4 Abb.; Öhringen
- KLAPPER, H. (1974): Zur Belastbarkeit und Selbstreinigung der Gewässer. — Wasserwirtschaft - Wassertechnik, 24: 259-262, 5 Abb.; Berlin
- KOCH, M. & SUCHAN, I. (1974): Ein Tracer-Versuch im Einzugsgebiet des Wasserwerkes Offlum der Stadtwerke Ochtrup (unveröff. Gutachten). — Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen: 9 S.; Krefeld
- KOEHNE, W. (1948): Grundwasserkunde. — 2. Aufl.: 314 S., 128 Abb.; Stuttgart (Schweizerbart)
- KRONBERG, P. (1967): Photogeologie. — Clausthaler Tektonische Hefte, 6: 218 S.; Clausthal
- LANDESAMT FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK NORDRHEIN-WESTFALEN (1970): Statistische Rundschau für den Kreis Beckum. — 76 S.; Düsseldorf
- " — : Statistische Rundschau für den Kreis Münster. — 71 S.; Düsseldorf
- " — : Statistische Rundschau für den Kreis Steinfurt. — 61 S.; Düsseldorf
- " — : Statistische Rundschau für den Kreis Warendorf. — 65 S.; Düsseldorf
- " — (1975): Entwicklung der kreisfreien Städte, Kreise und Gemeinden 1961 - 1975; Düsseldorf
- LANDESANSTALT FÜR WASSER UND ABFALL (1975): Gebietsbezeichnung und Flächenverzeichnis der Gewässer im Lande Nordrhein-Westfalen. — 305 S.; Düsseldorf
- LIST, F. (1975): Geologische Informationen im Satellitenbild und Luftbilderflarungen aus dem Forschungsprojekt Tibesti-Gebirge. — Symposium Erderkundung d. DFVLR: 329-344; Köln
- LOTZE, F. (1951a): Zur Entstehung der Münsterländer Kiessandzone. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1950, 11: 321-328, 2 Abb.; Stuttgart
- " — (1951b): Zur Kenntnis des Quartärs von Münster i.W.. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1951, 9: 257-262; Stuttgart
- " — (1954): Der Münsterländer Hauptkiessandzug und seine Entstehung. — Natur und Heimat, 14: 3-12, 4 Abb.; Münster
- MARCK, W.v.d. (1958): Die Diluvial- und Alluvialablagerungen im Innern des Kreidebeckens von Münster. — Verh. d. Naturw. Ver., Bonn, N.F., 15: 1-76; Bonn

- MATTHESS, G. (1961): Die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser. — Abh. Hess. L.-Amt Bodenforsch., 35: 20-28; Wiesbaden
- MEISEL, S. (1959): Erläuterung zu Blatt 83/84 Osnabrück - Bentheim. — Karte der Naturräumlichen Gliederung 1:200 000: 65 S.; Bad Godesberg
- " — (1960): Erläuterungen zu Blatt 97 Münster. — Karte der Naturräumlichen Gliederung 1:200 000: 58 S.; Bad Godesberg
- MERK (1975): Die Untersuchung von Wasser. — 5. Aufl.: 115 S.; Darmstadt
- MÖLLER, L. (1973): Auswertung langjähriger chemischer Untersuchungsergebnisse von Grundwasserwerken im Bereich Rheine. — Diss. med. Univ. Münster: 113 S.; Münster
- NAUMANN, E. (1963): Anforderungen an Trink- und Brauchwasser und dessen Beurteilung. — DVGW Taschenbuch III: 238 S.; München
- NATERMANN, E. (1958): Der Wasserhaushalt des oberen Emsgebietes nach dem Au-Linien-Verfahren. — Schriftenreihe Min. f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: 44 S.; Düsseldorf
- OHLE, W. (1954): Sulfat als Katalysator des limnischen Stoffkreislaufes. — Vom Wasser, 24: 13-30; Weinheim
- " — (1965): Die dritte Reinigungsstufe und die Abwasserbelüftung. — 391 S., 174 Abb., 65 Tab.; München (Oldenbourg)
- " — (1971): Gewässer und Umgebung als ökologische Einheit in ihrer Bedeutung für die Gewässer-eutrophierung. — Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, 12: 437-456; Aachen
- OTTERMANN, A. & KRZYSCHEK, G. (1965): Der Gehalt der Niederschläge an Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Sulfatschwefel. — Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, 111: 112-131; Berlin
- PENMAN, H.L. (1948): Natural evaporation from open water bare soil and grass. — Proc. Royal Soc., A., 193: 120-145; London
- PFÄFF, C. (1958): Einfluß der Beregnung auf die Nährstoffauswaschung bei mehrjährigem Gemüseanbau. — Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, 106: 93-108, 4 Abb.; Berlin
- " — (1963): Das Verhalten des Stickstoffs im Boden nach langjährigen Lysimeterversuchen. — Z. f. Acker- und Pflanzenbau, 117: 77-99; Berlin
- PILGER, A. (1955): Lineamente im Ruhrkarbon. — Geol. Jb., 71: 395-404, 7 Abb., 1 Taf.; Hannover
- " — (1956): Die tektonischen Richtungen des Ruhrkarbons und ihre Beziehung zur Faltung. — Z. deutsch. geol. Ges., 107: 206-230, 22 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Hannover
- " — (1957): Über den Untergrund des Rheinischen Schiefergebirges und Ruhrgebietes. — Geol. Rdsch., 46: 197-212; Stuttgart
- " — (1965): Beziehungen der Kleintektonik an den großtektonischen Formen im Ruhrkarbon. — Clausthaler Geol. Abh., 1: 149-151; Clausthal
- POLLKÖTTER, B. (1973): Auswertungen von langjährigen chem. Untersuchungen von Grundwasserwerken im Bereich Münster. — Diss. med., Univ. Münster: 113 S.; Münster
- REUL, K. (1972): Anwendung der Luftbildgeologie bei der Neuwasserschließung. — Sonderdruck DVGW: 7 S., 11 Abb.; Frankfurt
- RUTTNER, F. (1962): Grundriß der Limnologie. — 333 S., 70 Abb.; Berlin (De Gruyter)
- SCHARER, K. & FAST, H. (1951): Untersuchungen über die im Boden durch Niederschläge zugeführten Pflanzennährstoffe. — Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde: 55: 97-106; Berlin
- SCHNEIDER, H. (1938): Zur Frage des Münsterländer Kiessandrückens. — Z. deutsch. geol. Ges., 90: 603-615 1 Abb., 1 Kt.; Berlin
- SCHNELL, K. (1955): Gewässerkundliche Karten von Nordrhein-Westfalen 1:300 000. — Min. f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Nordrhein-Westfalen: 3 Ktn.; Düsseldorf
- SCHRÖDER, M. (1975): Erste Ergebnisse der Großlysimeteranlage St.-Arnold bei Rheine. — Wasserwirtschaft, 11: 301-305; Stuttgart
- SCHULZ, D.H. (1973): Chemische Beeinflussung des Grundwassers in Sandern durch landwirtschaftliche Düngung. — Meyniana, 23: 93-98; Kiel
- SCHWILLE, F. (1962): Nitrate im Grundwasser. — Deutsche Gewässerkundliche Mitt., 6, (2): 25-32; Koblenz

- SCHWOERBEL, J. (1977): Einführung in die Limnologie. — 177 S., 46 Abb.; Stuttgart (Fischer)
- STEUSLOFF, U. (1933): Grundzüge der Moluskenfauna diluvialer Ablagerungen im Ruhr-Emscher-Lippe-Gebiet. — Arch.-Molluskenkde., 65: 35-43; Frankfurt
- STOOF, H. (1949): Chemische und physikalisch-chemische Fragen der Wasserversorgung. — 45 S.; Stuttgart (Piscator)
- STRUGGER, S. (1962): Biologie I (Botanik), Fischer Lexikon 27. — 350 S.; Frankfurt (Fischer)
- SUCHAN, M. (1976): Markierungsversuch im Versuchsfeld des Wasserwerkes Kinderhaus der Stadtwerke Münster (Unveröff. Gutachten). — Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen: 8 S.; Krefeld
- THIERMANN, A. (1973), mit Beitr. von DUBBER, H.J., KALTERBERG, J., KOCH, M. & REHAGEN, W.: Erläuterungen zu Blatt 3710 Rheine. — Geol. Kt. Nordrhein-Westfalen. 1:25 000: 174 S., 16 Abb., 12 Tab., 5 Taf.; Krefeld
- THIERMANN, A. (1968), mit Beiträgen von REHAGEN, H.W. & SCHRAPS, W.G.: Erläuterungen zu Blatt 3709 Ochtrup. — Geol. Kt. Nordrhein-Westfalen 1:25 000: 177 S., 3 Abb., 12 Tab., 4 Taf.; Krefeld
- UNGEMACH, L. (1962): Gutachten über den limnologischen Zustand einiger Baggerseen bei Münster (unveröff.). — Landesanstalt f. Fischereiwesen Nordrhein-Westfalen: 29 S.; Albaum
- VOMMEL, R. (1966): Versuch einer Nährstoffbilanz am Beispiel verschiedener Lysimeterböden. — Z. f. Acker- u. Pflanzenbau, 123: 155-188; Berlin
- VOLLENWEIDER, R. (1971): Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. — OECD-Bericht, Environment Directorate: 143 S.; Paris
- WEGNER, T. (1908): Führer zu den Exkursionen des niederrheinischen geol. Vereins. — 48 S.; Bonn
- " — (1910): Über eine Stillstandslage der großen Vereisung im Münsterland. — Z. deutsch. geol. Ges., 62: 387-405, 6 Abb.; Berlin
- " — (1926): Geologie Westfalens und der angrenzenden Gebiete. — 2. Aufl.: 500 S., 244 Abb.; Paderborn (Schöningh)
- WEHRLI, H. (1941): Interglaziale und vorsaaleezeitliche Ablagerungen in der Münsterschen Bucht. — Z. deutsch. geol. Ges., 93 (2/3): 114-127, 4 Abb.; Berlin
- WESSELING, J. (1960): Hulpsmiddelen bij de berekening van de verdamping uit een vrij wateroppervlak. — Inst. voor Cultuurtechniek en waterhuishouding: 18 S., 11 Tab.; Wageningen.
- WESTPHALEN, v. (1976): Vorbericht zur Limnologie von zwei Auskiesungen (Neuenkirchener See und Haddorfer See (unveröff. Gutachten). — 9 S.; Kettwig
- WIEGEL, E. (1957), mit Beitr. v. DIETZ, C., FRICKE, K., KARRENBERG, H. & SCHNELL, K.: Hydrologische Übersichtskarte 1:500 000, Erläuterungen zu Blatt Münster. — Bundesanstalt f. Landeskunde: 172 S., 15 Abb., 1 Kt., 19 Tab.; Remagen
- WOLBURG, J. (1954): Schwellen und Becken im Emsland-Tektogen mit einem paläogeographischen Abriß von Wealden und Unterkreide. — Beih. Geol. Jb., 13: 5-75, 2 Abb.; Hannover
- " — (1963): Die allgemeinen Erscheinungen des Eiszeitalters. — 3. Aufl.: 328 S., 43 Abb.; Stuttgart (Enke)
- WOLDSTEDT, P. & DUPHORN, K. (1974): Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. — 2. Aufl.: 500 S., 91 Abb., 26 Tab.; Stuttgart (Köhler)
- WOLFF, W. (1927): Einige glazial-geologische Probleme aus dem norddeutschen Tiefland. — Z. deutsch. geol. Ges., 79: 342-360, 2 Abb., 1 Taf.; Berlin
- WYRWICH, D. (1976): Das Quartär zwischen Münster und Greven. — Dipl.-Arb. (unveröff.), Univ. Münster: 106 S.; Münster

13. ABBILDUNGEN 2 - 90

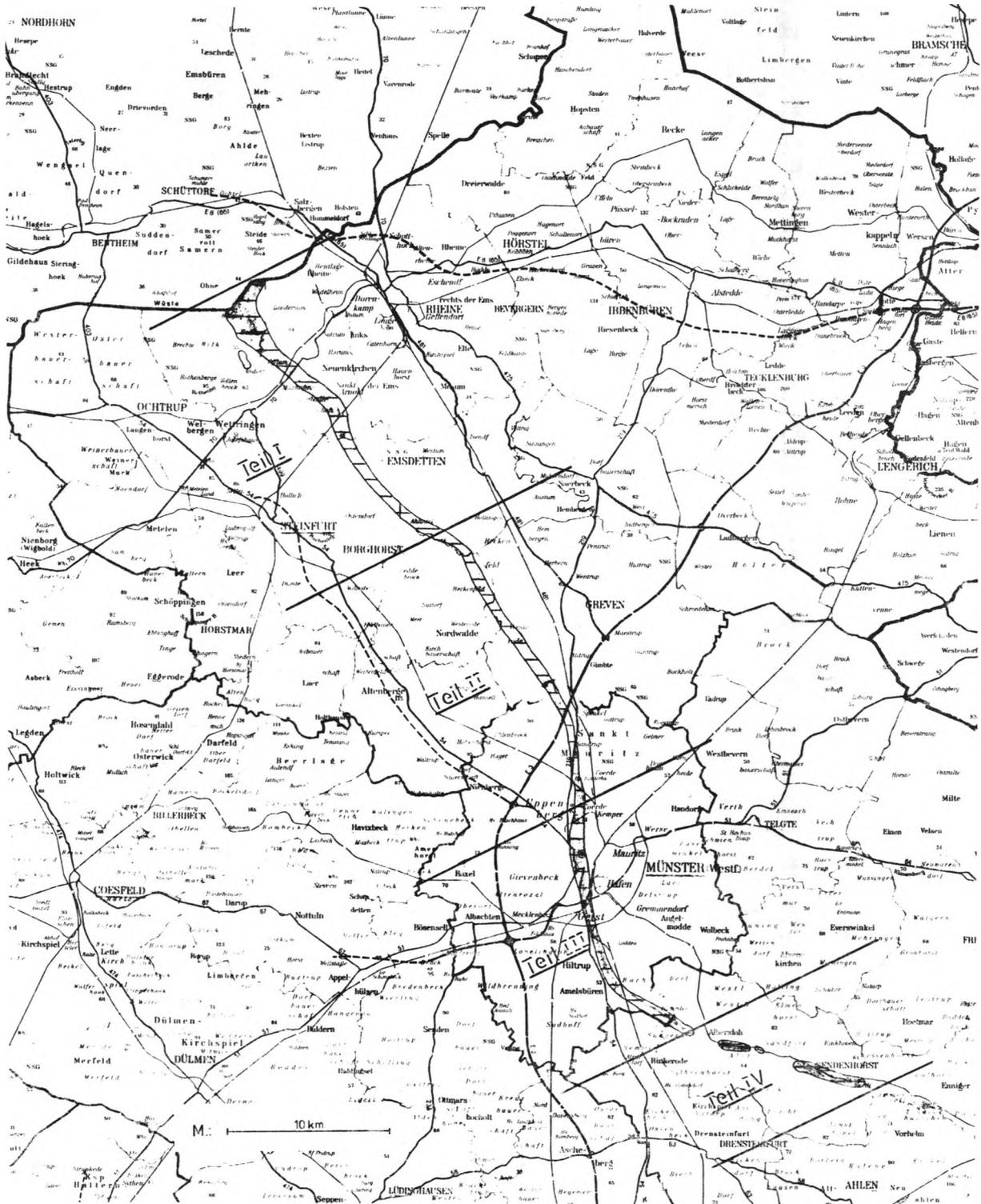


Abb. 2: Kommunale Gliederung des Arbeitsgebietes.
Lage des Münsterländer Kiessandzuges.
Lage der Kartenausschnitte der Abb. 3a - 3d.

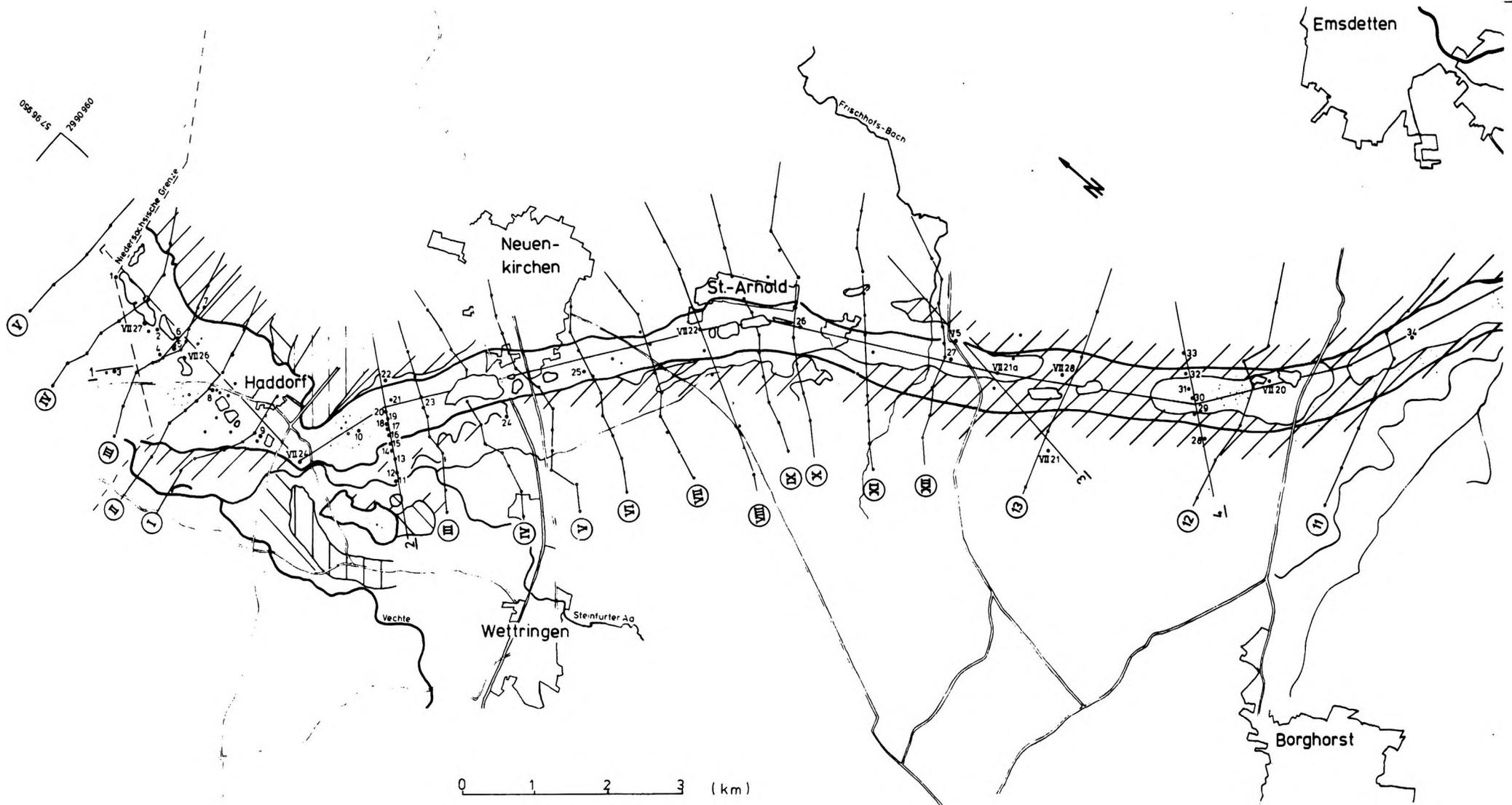
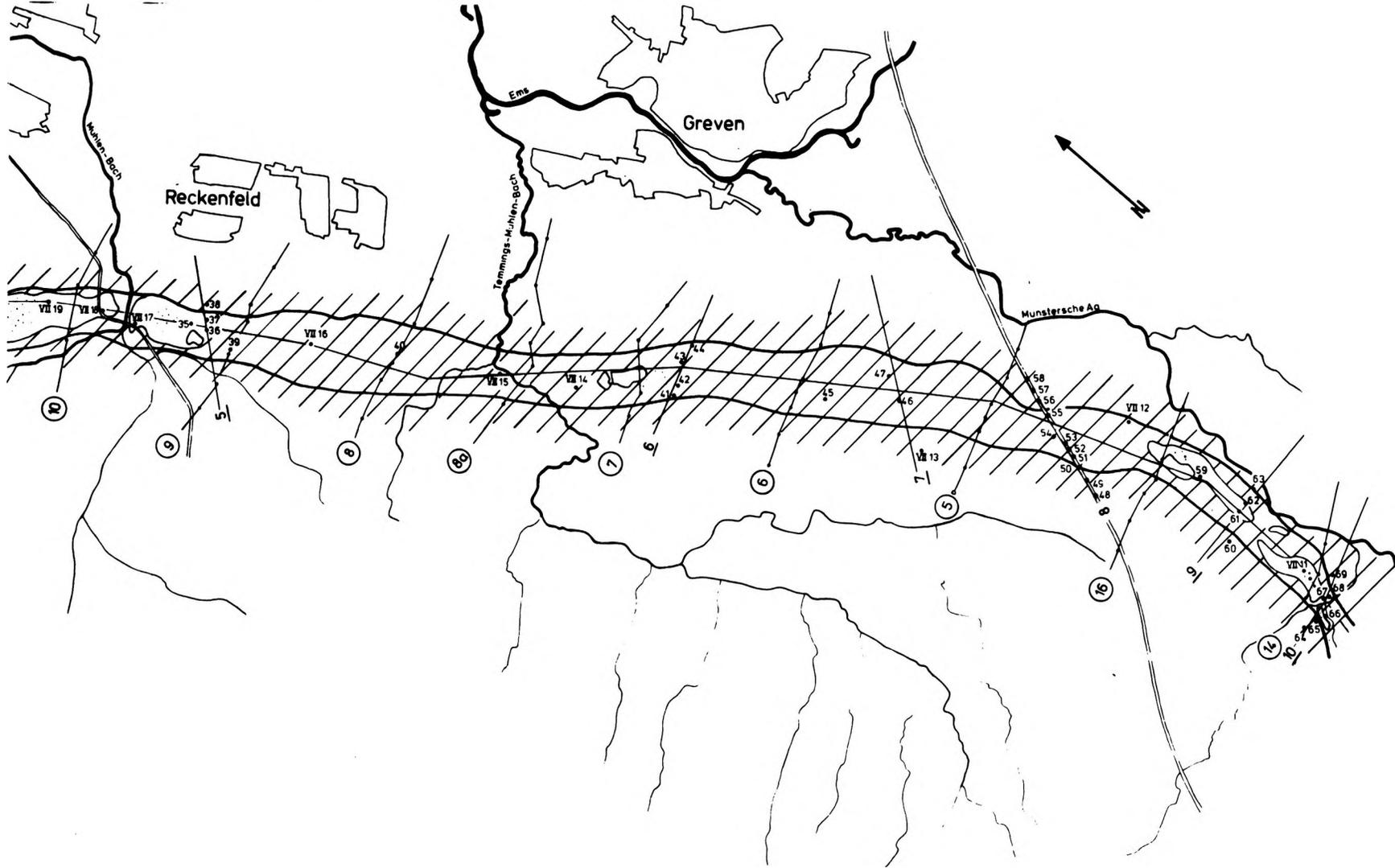


Abb. 3a: Geologische Übersichtskarte des Münsterländer Kiessandzuges, Teil I.
 Die Lage des Kartenausschnittes ist auf Abb. 2 angegeben.
 Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 3d.

Abb. 3b: Geologische Übersichtskarte des Münsterländer Kiessandzuges, Teil II.
Die Lage des Kartenausschnittes ist auf Abb. 2 angegeben.
Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 3d.



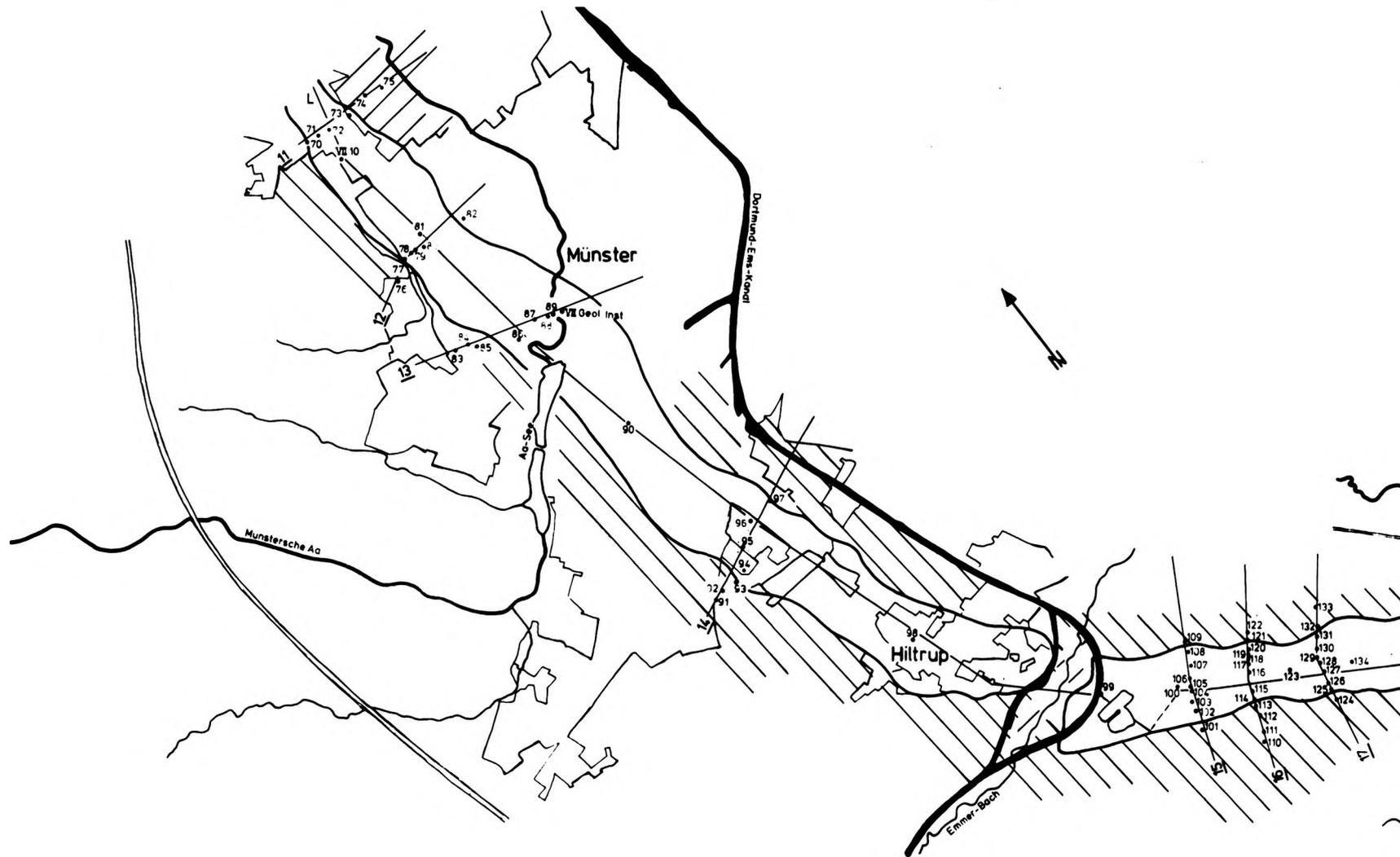
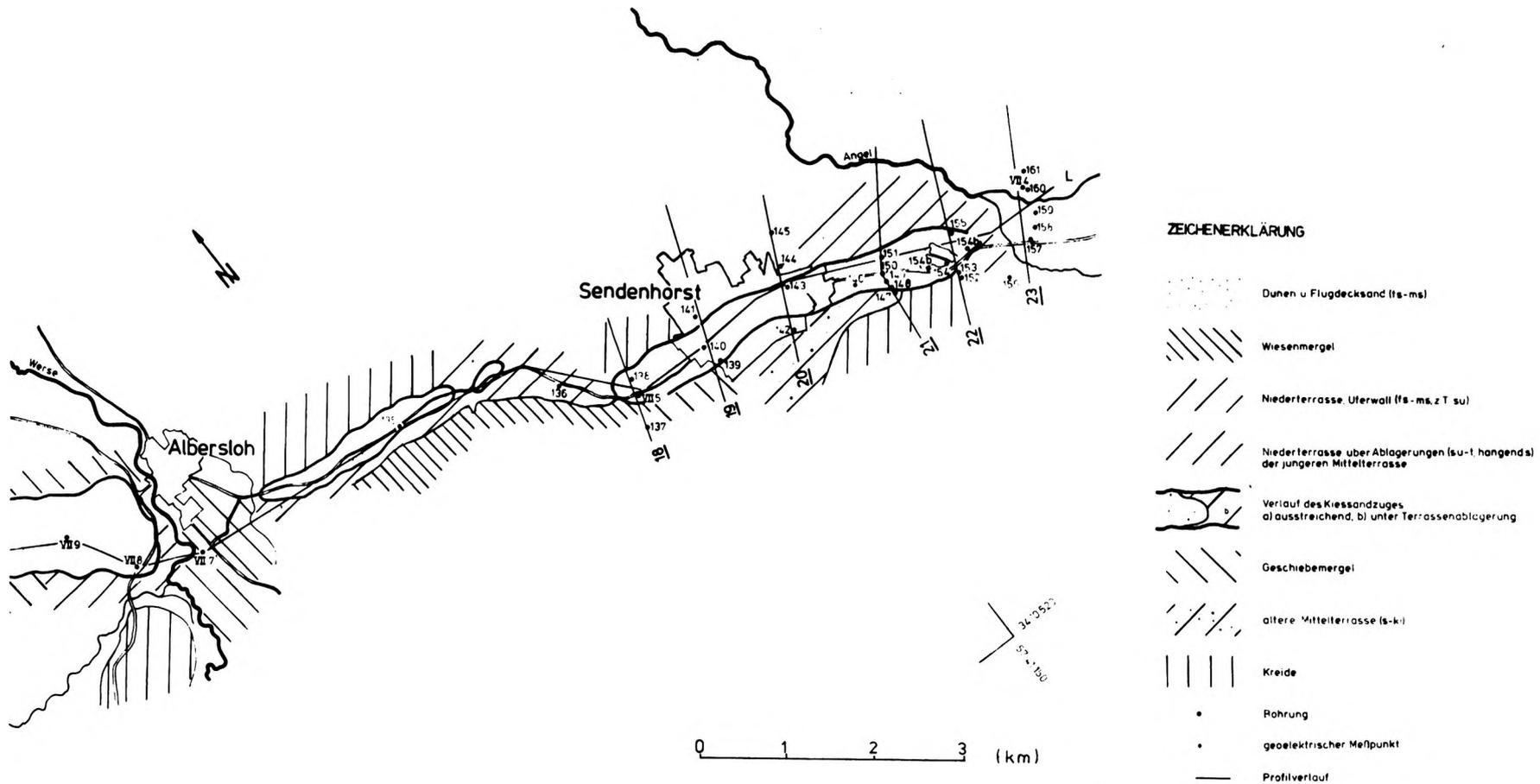


Abb. 3c: Geologische Übersichtskarte des Münsterländer Kiessandzuges, Teil III.
 Die Lage des Kartenausschnittes ist auf Abb. 2 angegeben.
 Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 3d.

Abb. 3d: Geologische Übersichtskarte des Münsterländer Kiessandzuges, Teil IV.
 Die Lage des Kartenausschnittes ist auf Abb. 2 angegeben.
 Die Zeichenerklärung gilt für die Abb. 3a - 3d.



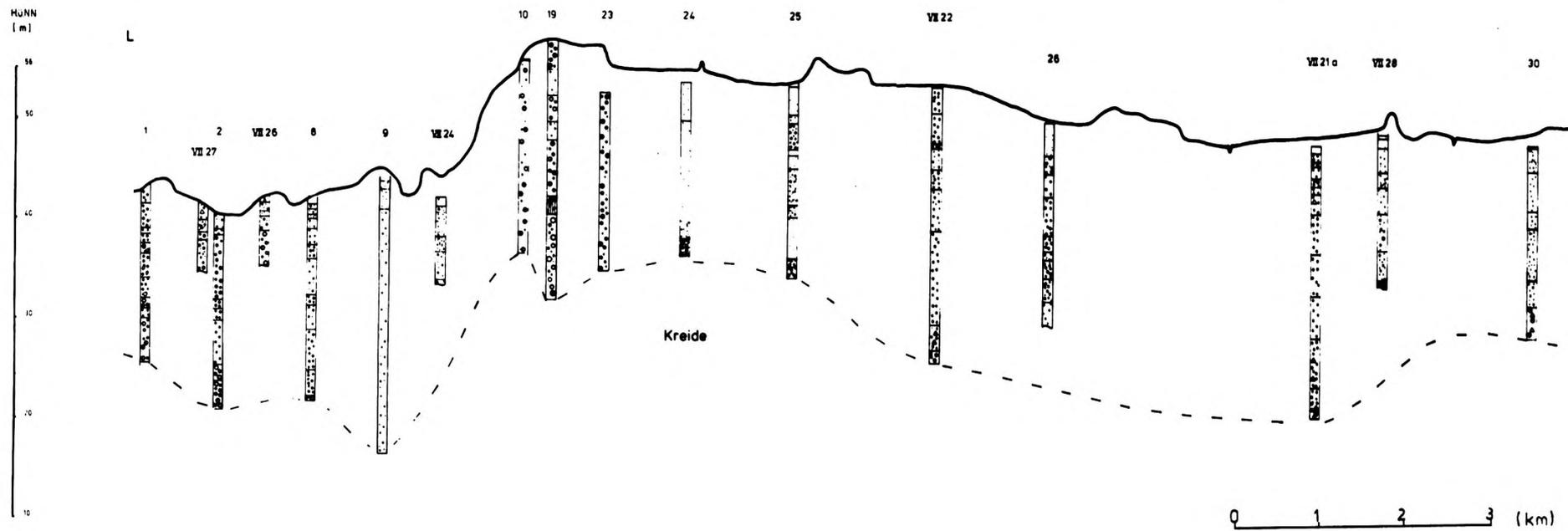
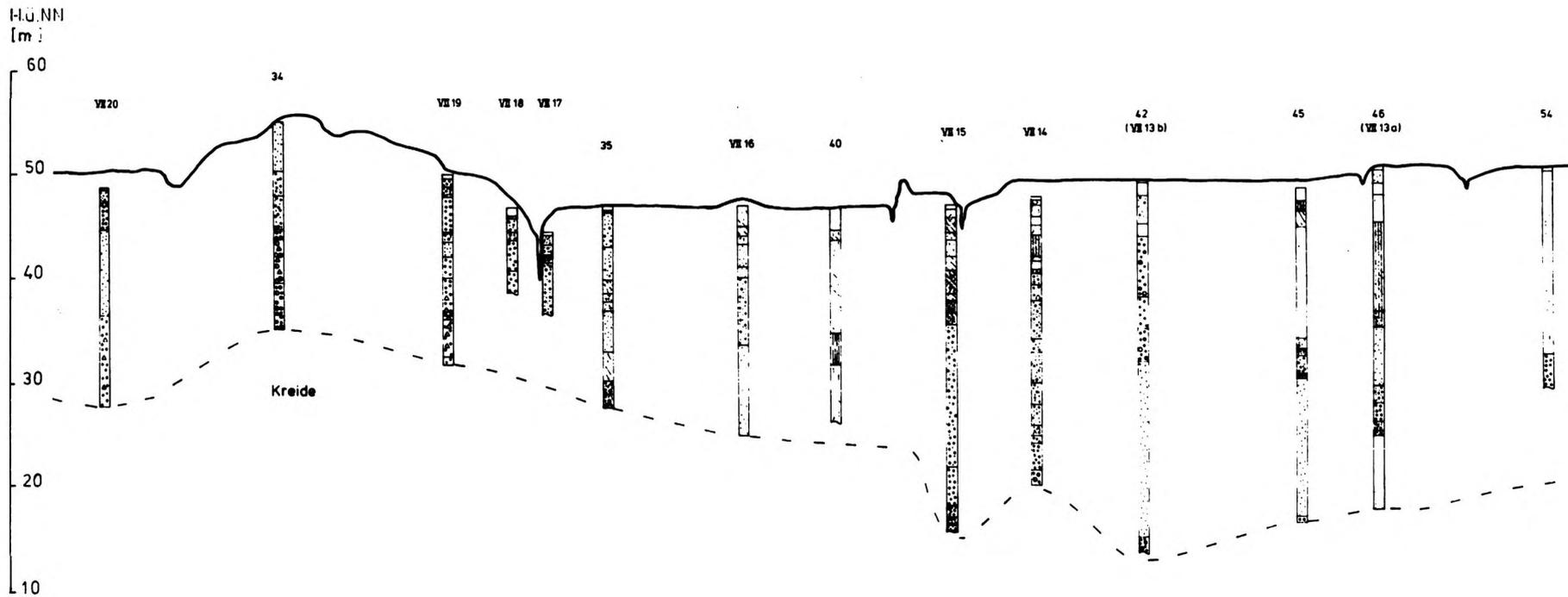


Abb. 4a: Längsprofil durch den Münsterländer Kiessandzug, Teil I.
 Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb. 3a.
 Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 4d.

Abb. 4b: Längsprofil durch den Münsterländer Kiessandzug, Teil II.
Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb. 3b.
Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 4d.



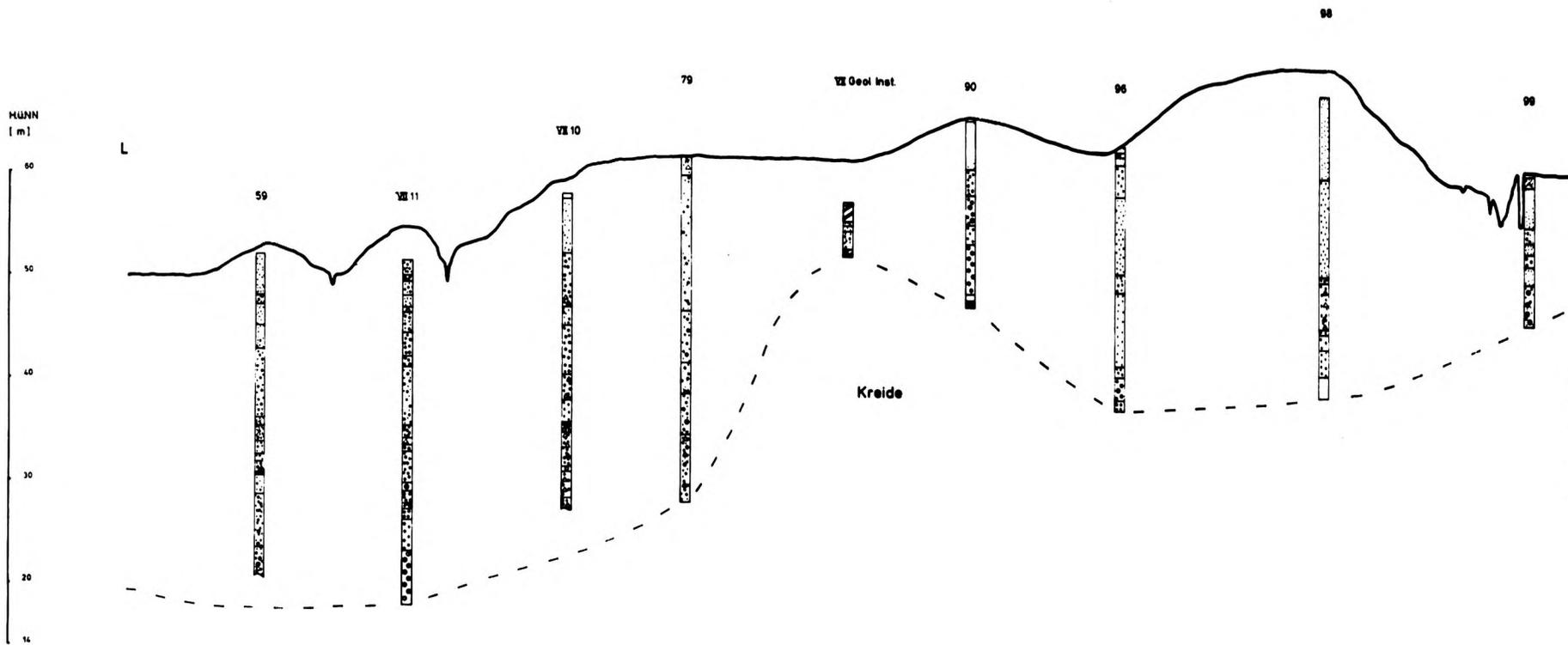
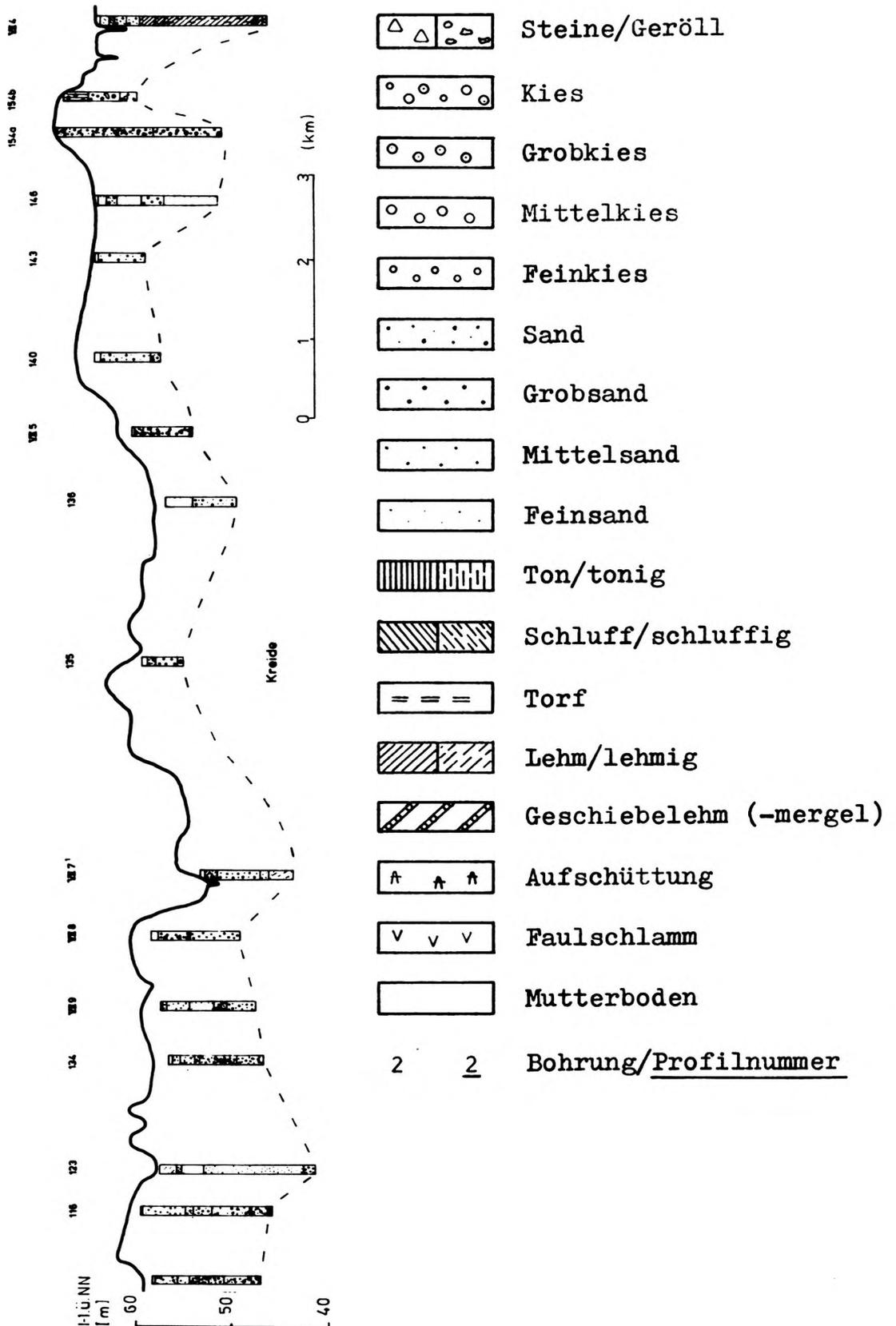


Abb. 4c: Längsprofil durch den Münsterländer Kiessandzug, Teil III.
 Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb. 3c.
 Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 4d.

Abb. 4d: Längsprofil durch den Münsterländer Kiessandzug, Teil IV.
 Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb. 3d.
 Die Zeichenerklärung gilt für die Abb. 4a - 4d sowie für die Abb. 5 - 27



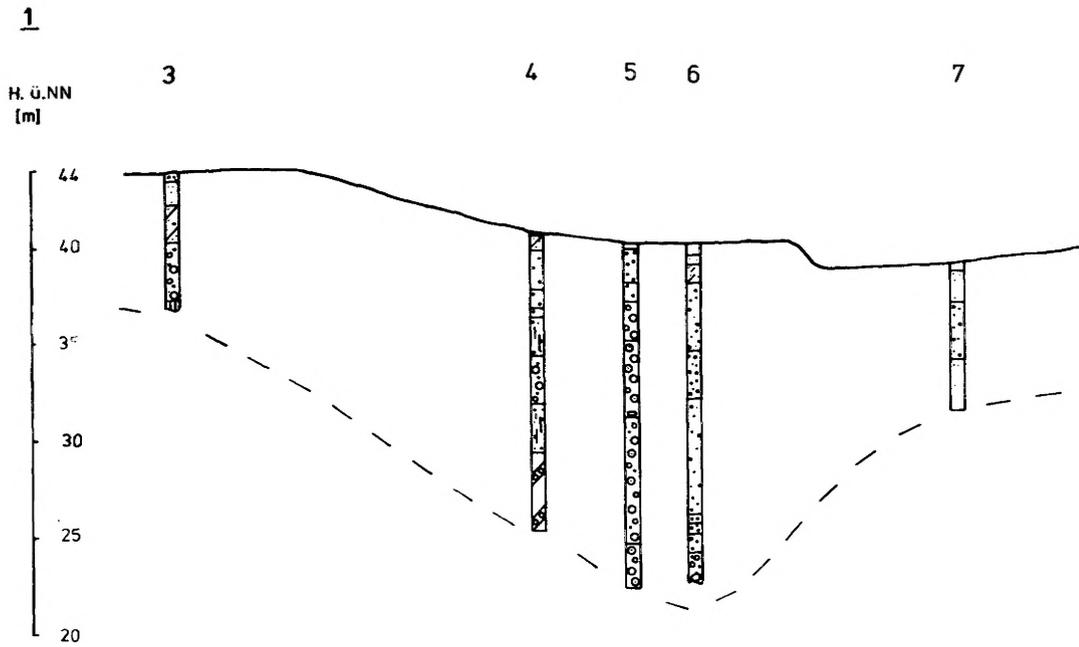


Abb. 5: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3a vermerkt.

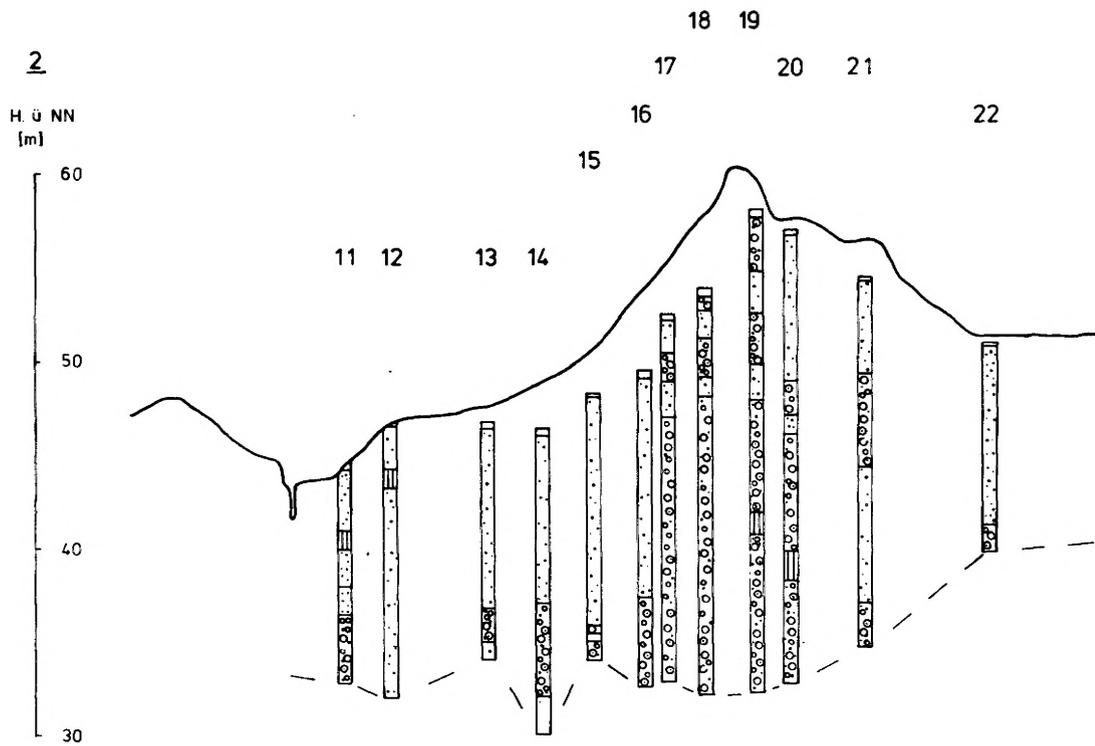


Abb. 6: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3a vermerkt.

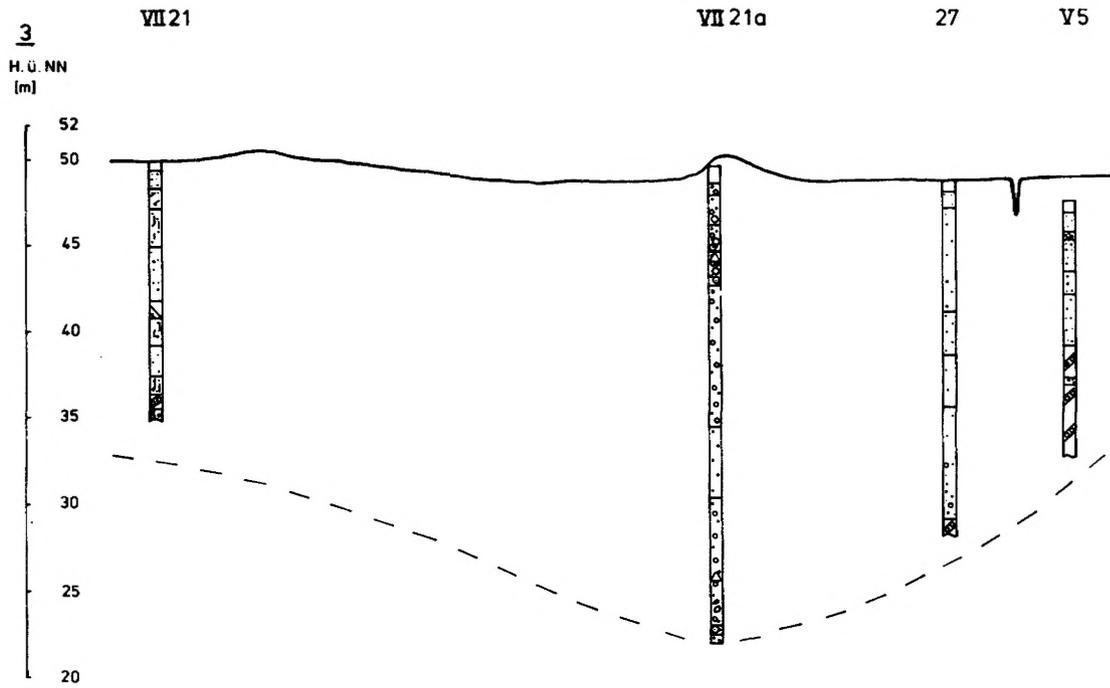


Abb. 7: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3a vermerkt.

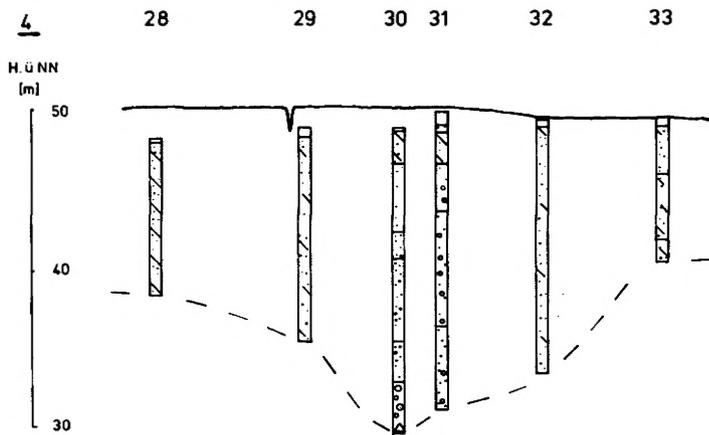


Abb. 8: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3a vermerkt.

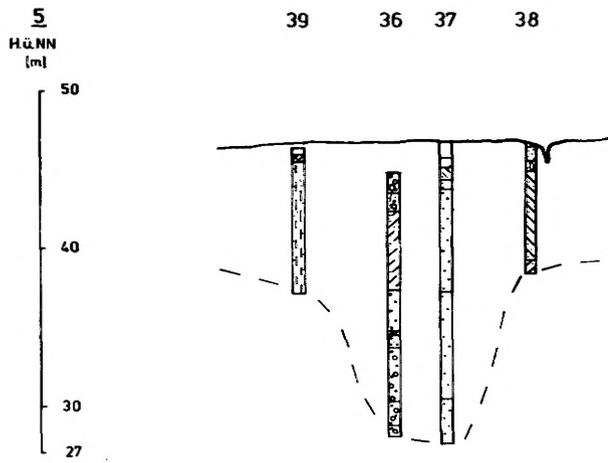


Abb. 9: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3b vermerkt.

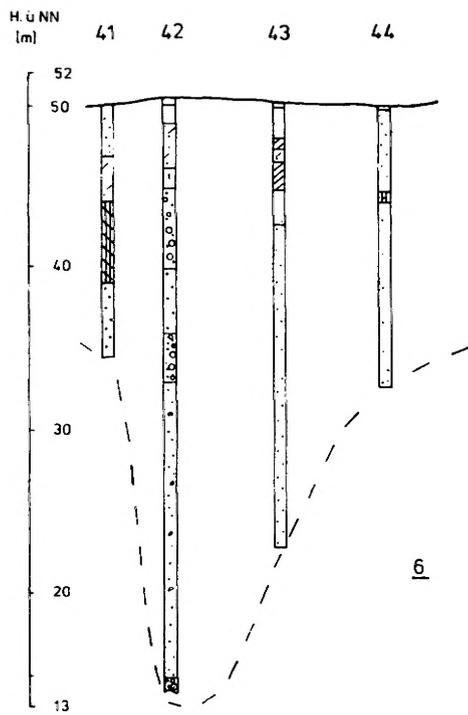


Abb. 10: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3b vermerkt.

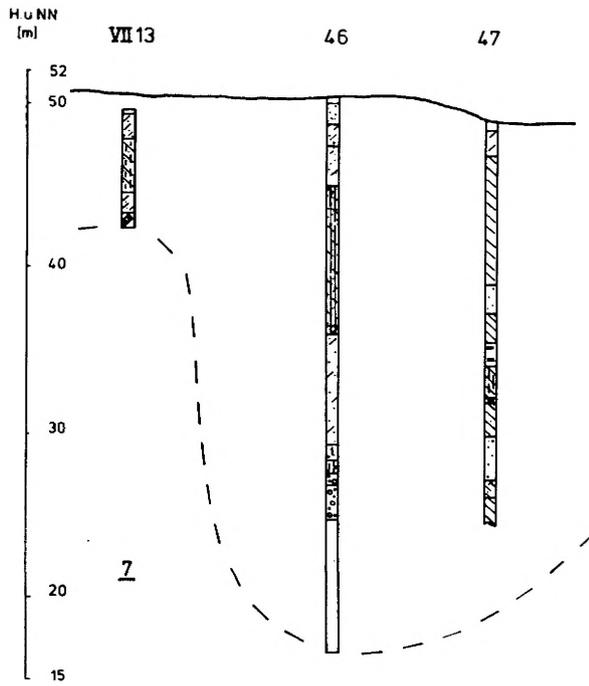


Abb. 11: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3b vermerkt.

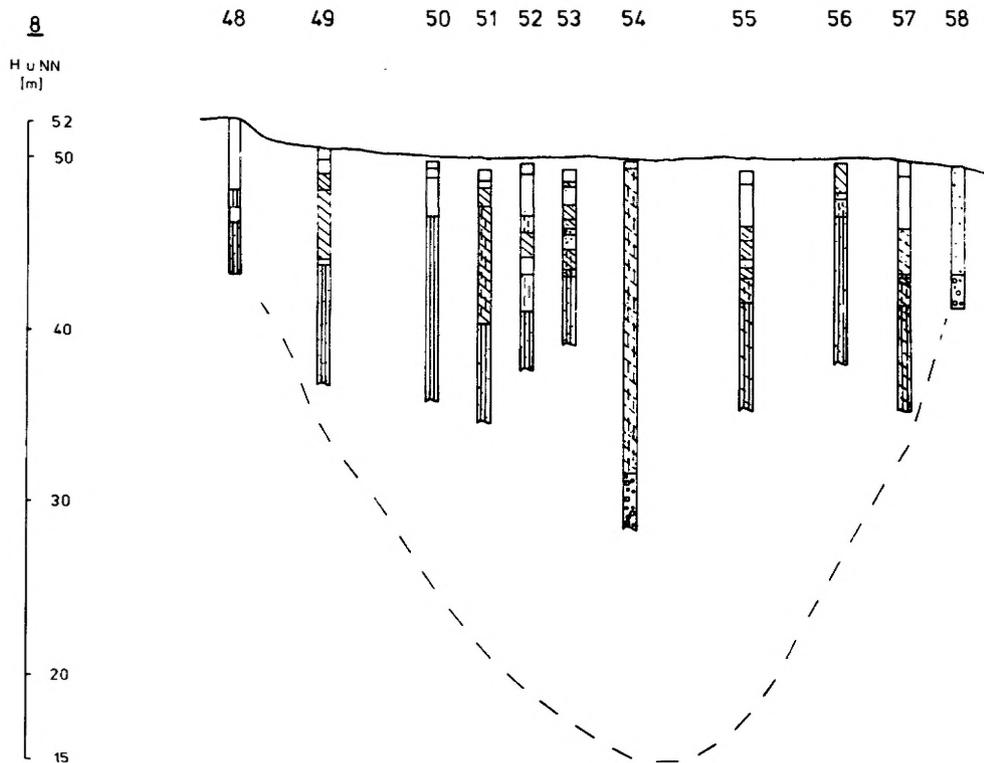


Abb. 12: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3b vermerkt.

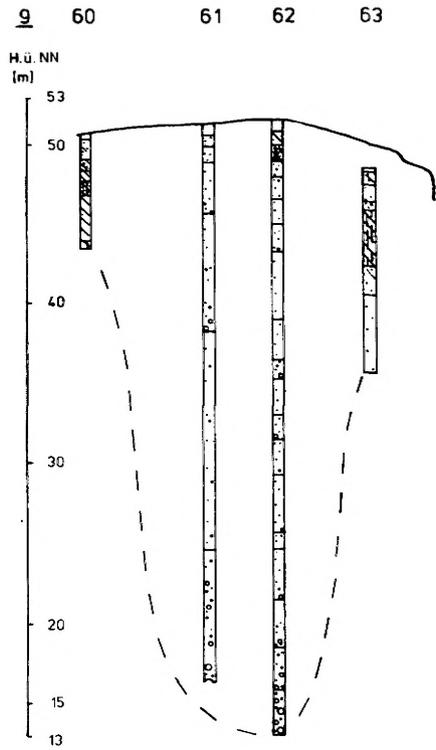


Abb. 13: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3b vermerkt.

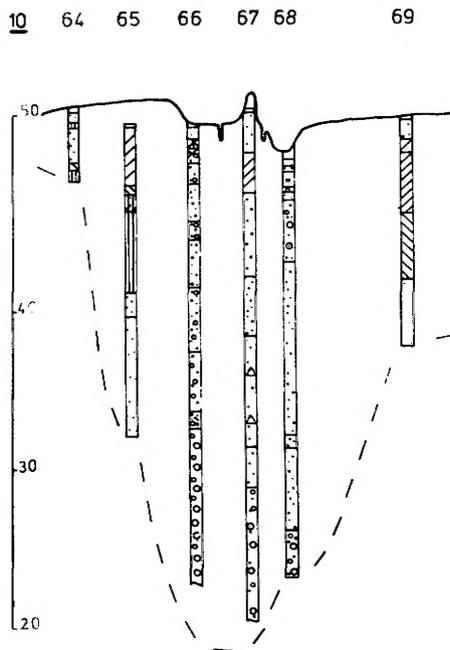


Abb. 14: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3b vermerkt.

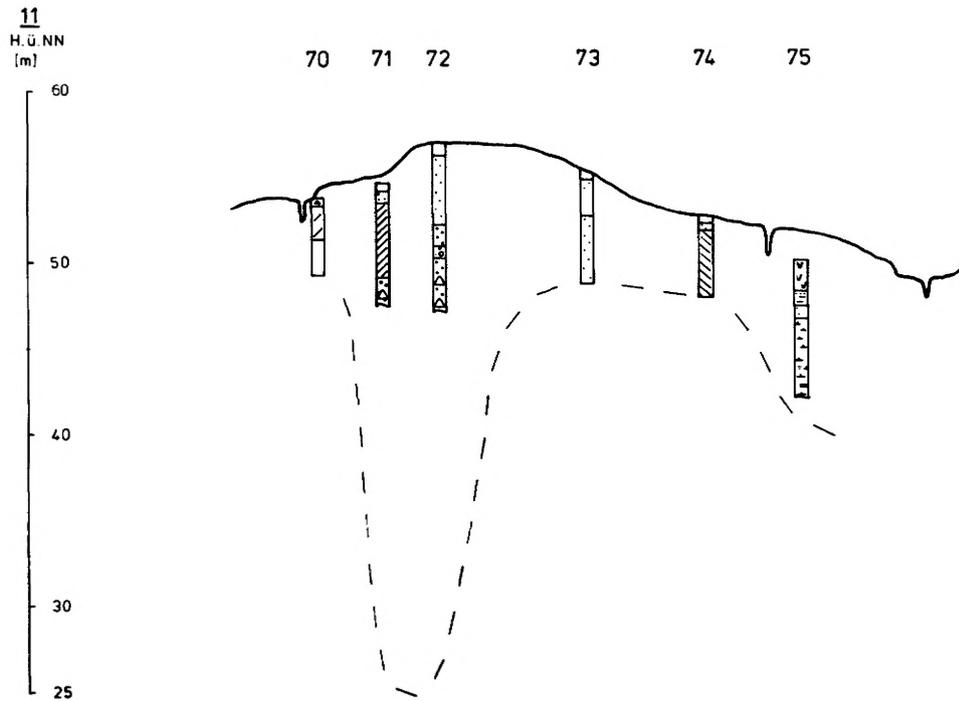


Abb. 15: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3c vermerkt.

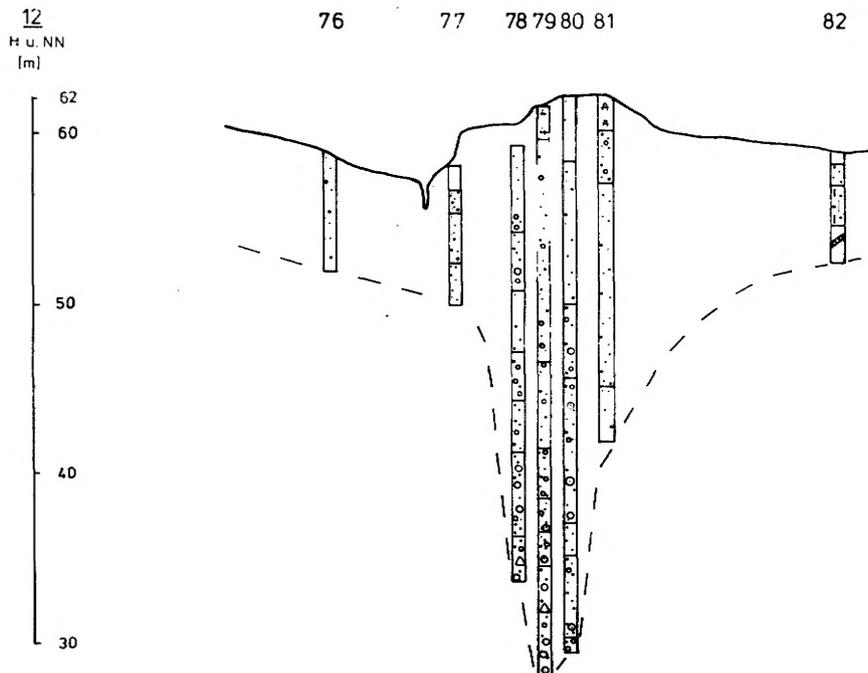


Abb. 16: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3c vermerkt.

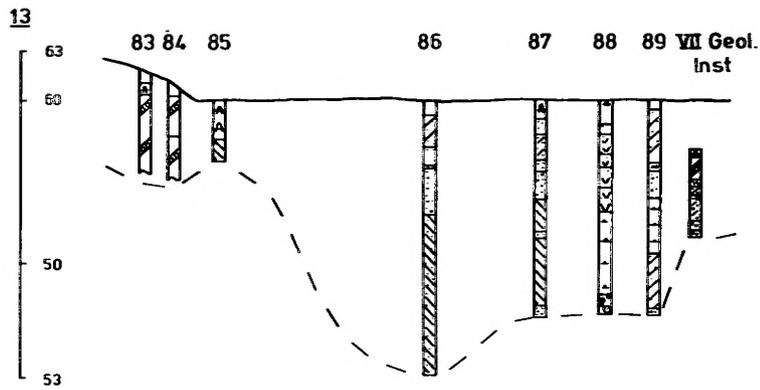


Abb. 17: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3c vermerkt.

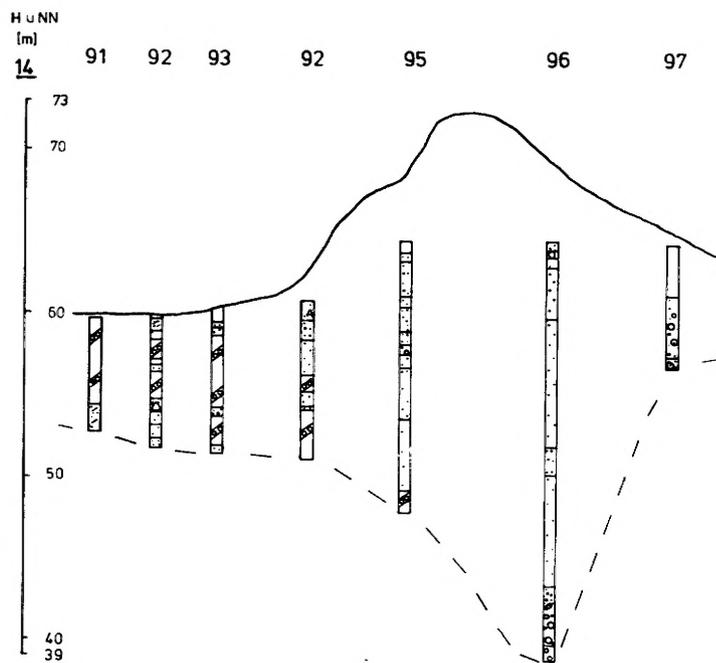


Abb. 18: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3c vermerkt.

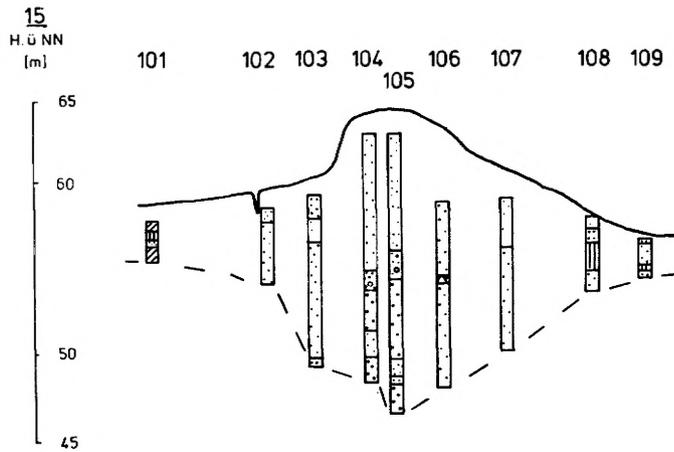


Abb. 19: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3c vermerkt.

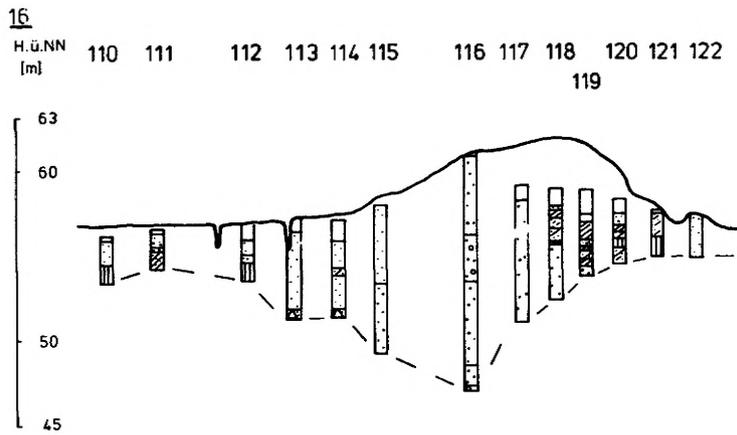


Abb. 20: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3c vermerkt.

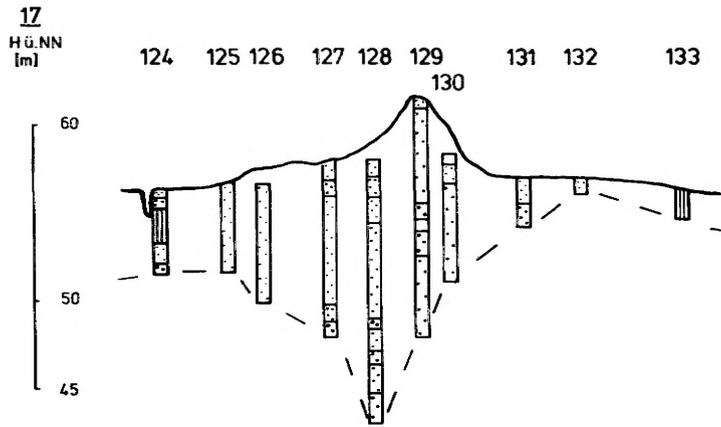


Abb. 21: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3c vermerkt.

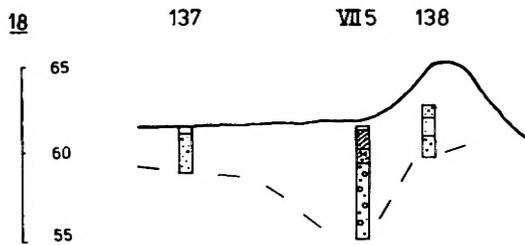


Abb. 22: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3d vermerkt.

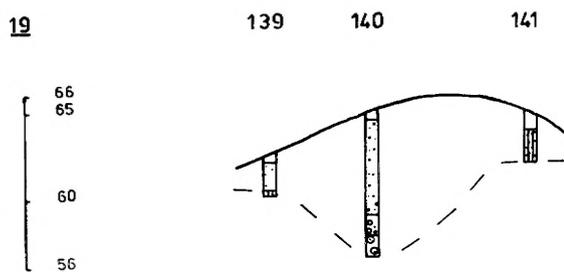


Abb. 23: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3d vermerkt.

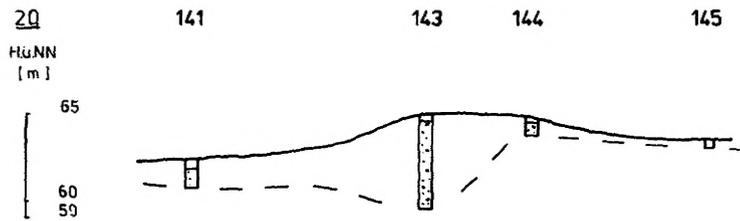


Abb. 24: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3d vermerkt.

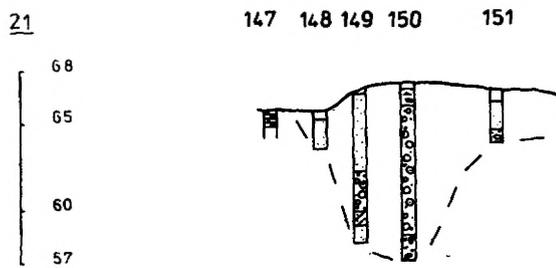


Abb. 25: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3d vermerkt.

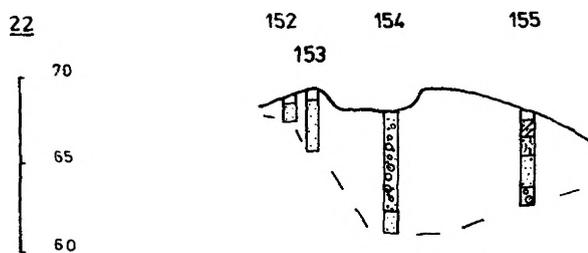


Abb. 26: Querprofil durch die Münsterländer Kiessandzug. Die Lage des Profils ist auf Abb.3d vermerkt.

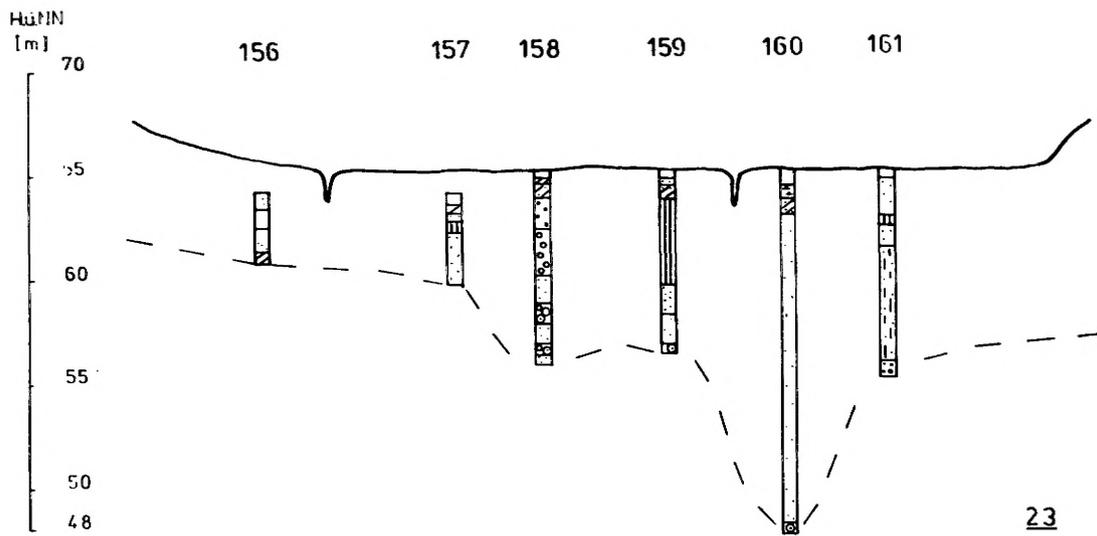
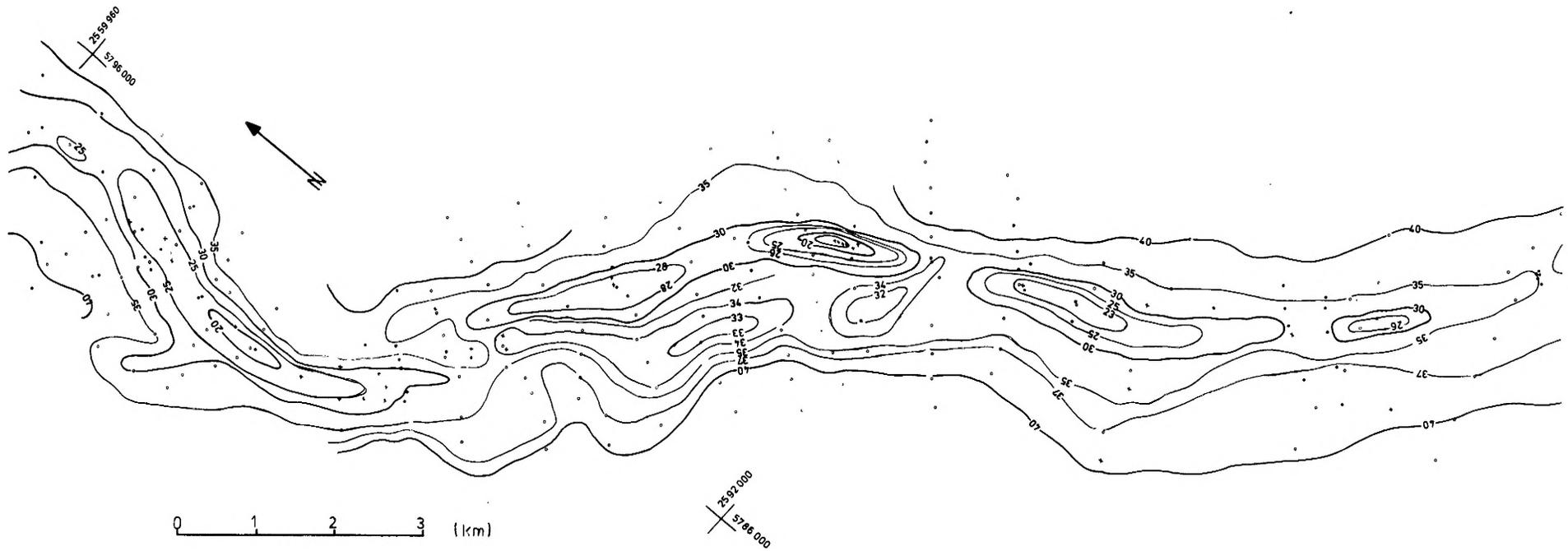


Abb. 27: Querprofil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage des Profils ist auf Abb.3d vermerkt.

Abb. 28a: Quartärbasis - Karte des Münsterländer Kiessandzuges.
Der Kartenausschnitt entspricht demjenigen der Abb. 3a.



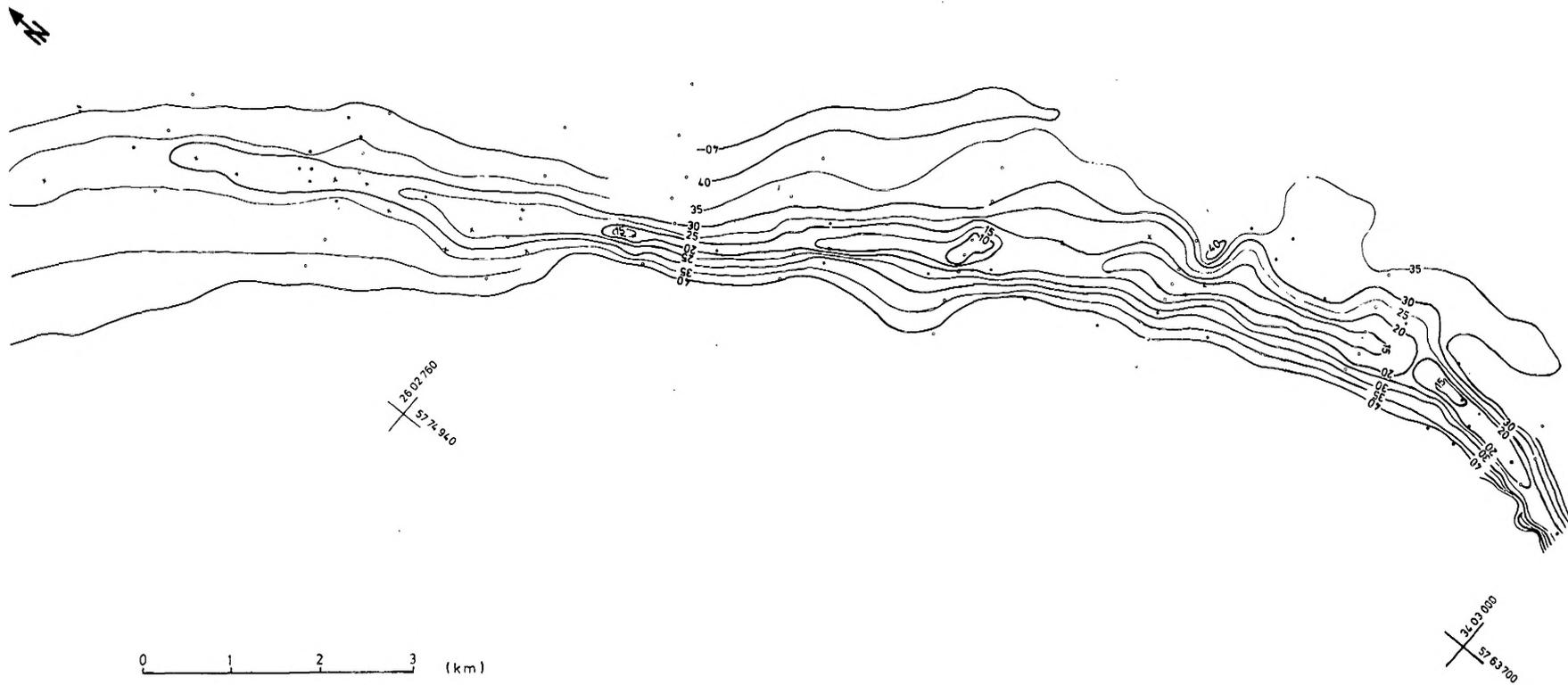
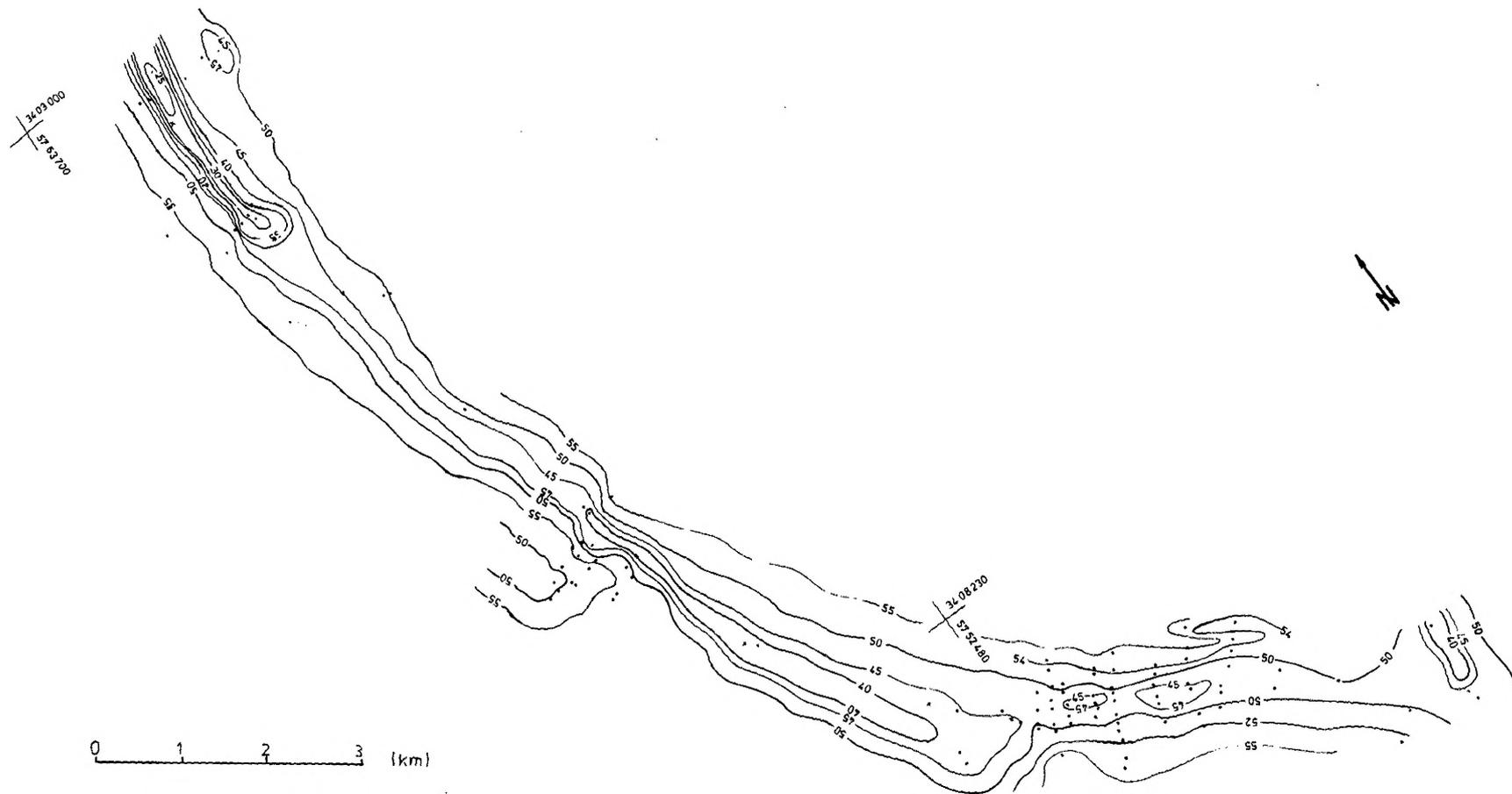


Abb. 28b: Quartärbasis - Karte des Münsterländer Kiessandzuges.
 Der Kartenausschnitt entspricht demjenigen der Abb. 3b.

Abb. 28c: Quartärbasis - Karte des Münsterländer Kiessandzuges.
Der Kartenausschnitt entspricht demjenigen der Abb. 3c.



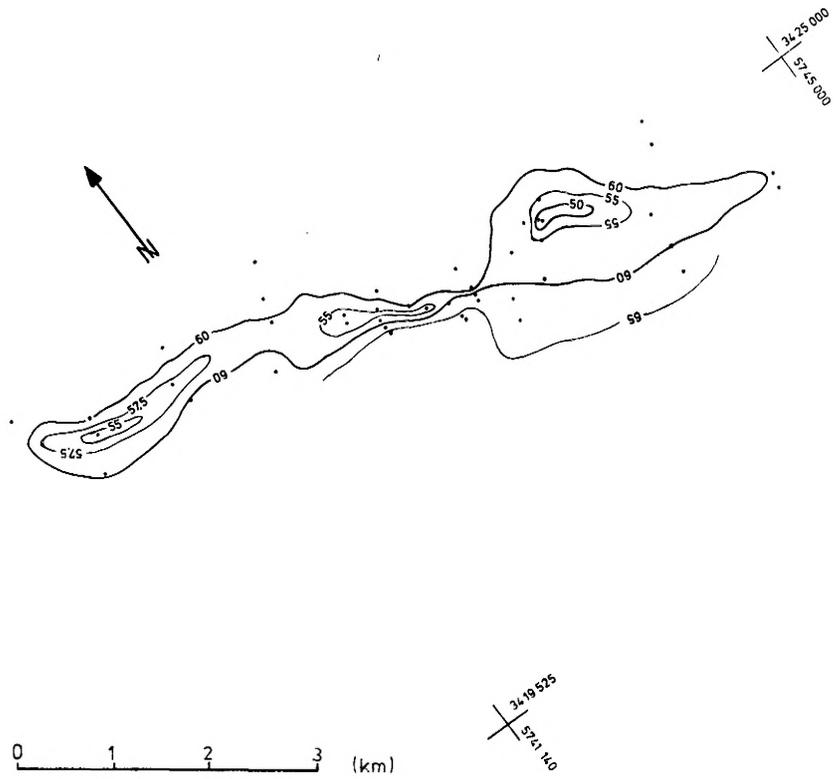


Abb. 28d: Quartärbasis - Karte des Münsterländer Kiessandzuges.
 Der Kartenausschnitt entspricht demjenigen der Abb. 3d.

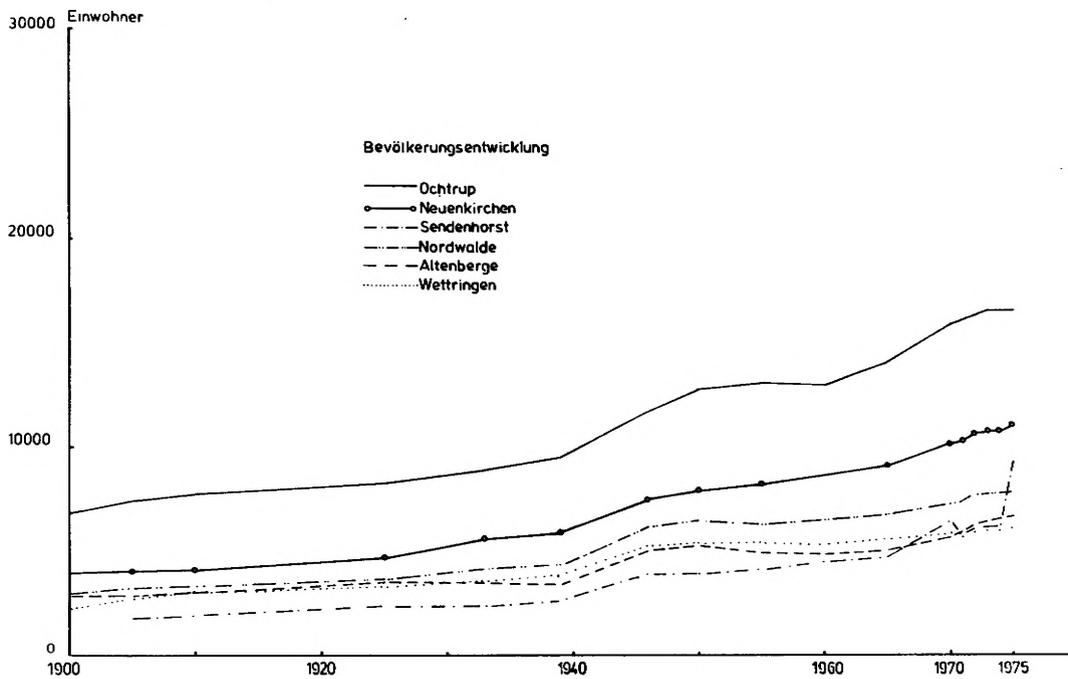
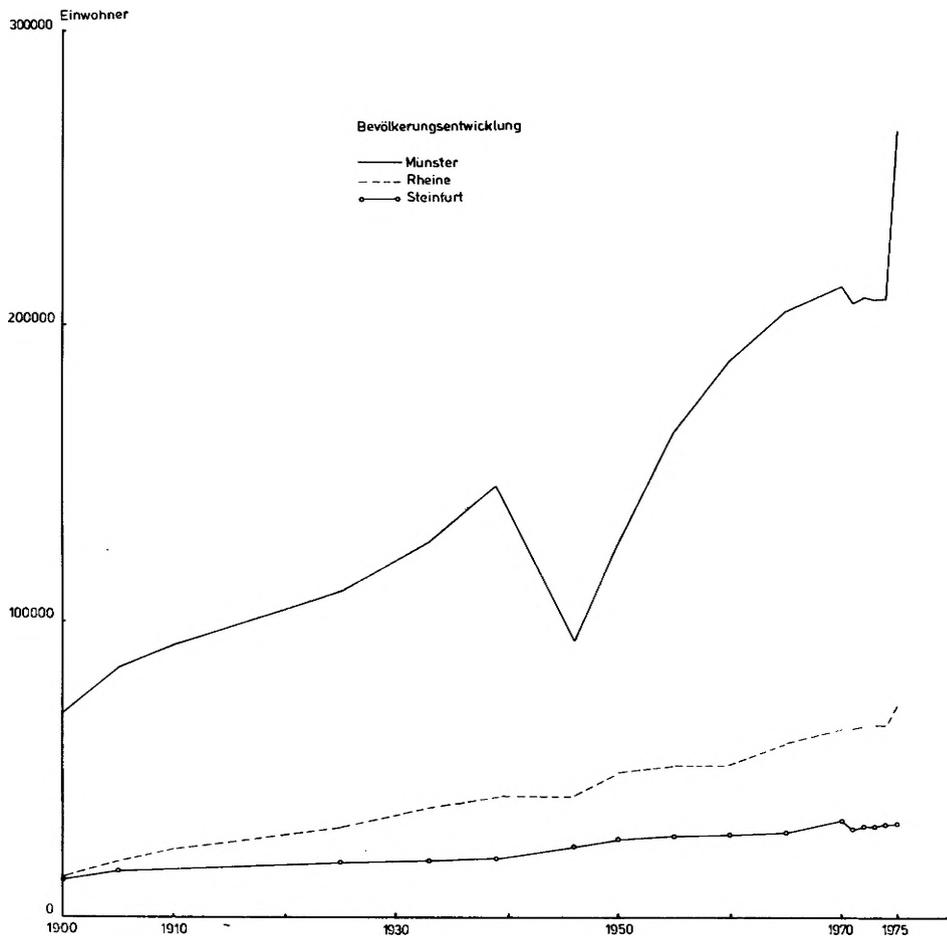
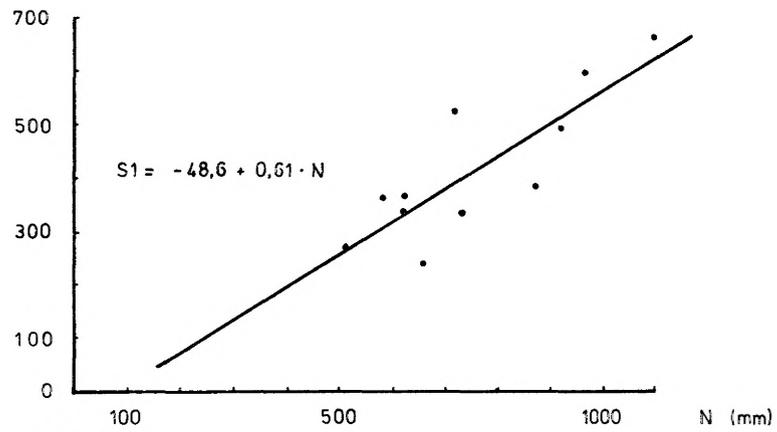


Abb. 29: Bevölkerungsentwicklung der Städte im Arbeitsgebiet

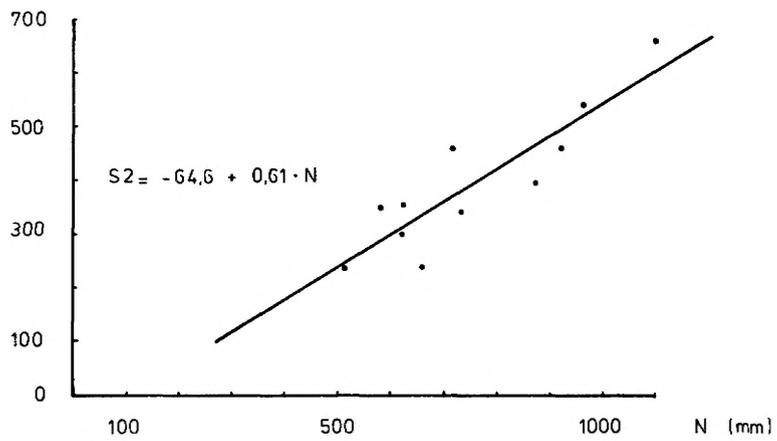
S1 (mm)



Lysimeter :

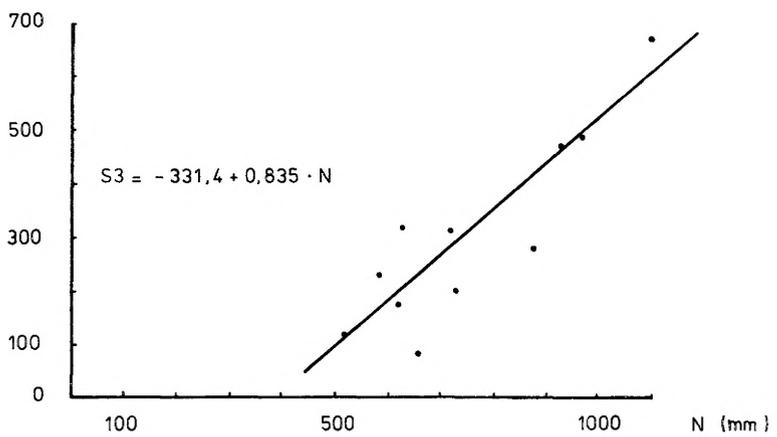
1

S2 (mm)



2

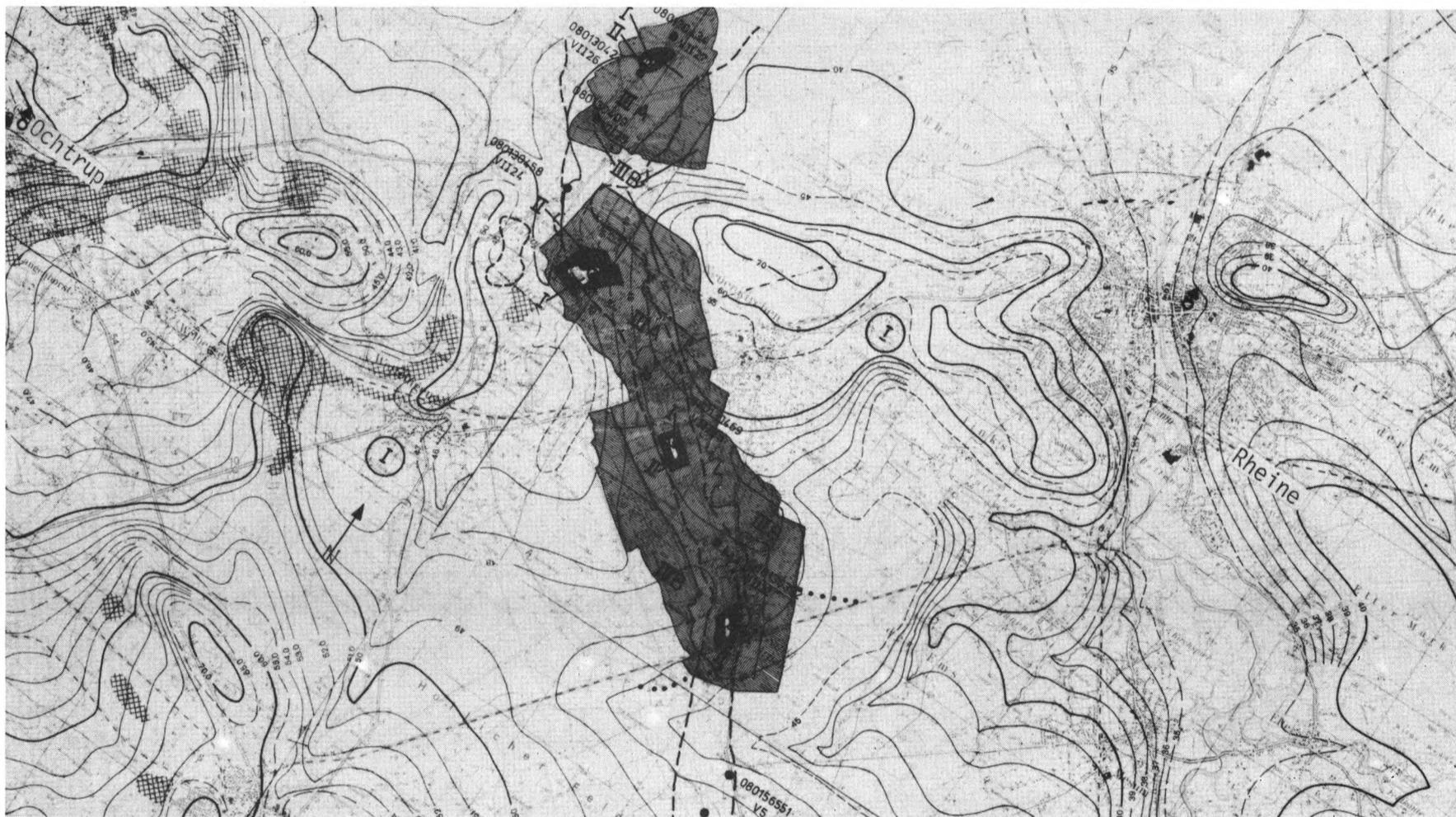
S3 (mm)



3

Abb. 30: Regressionsgeraden der Lysimeter 1, 2 und 3

Abb. 31a: Grundwasser - Schutzgebietskarte im Bereich von Rheine
Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 31 e.



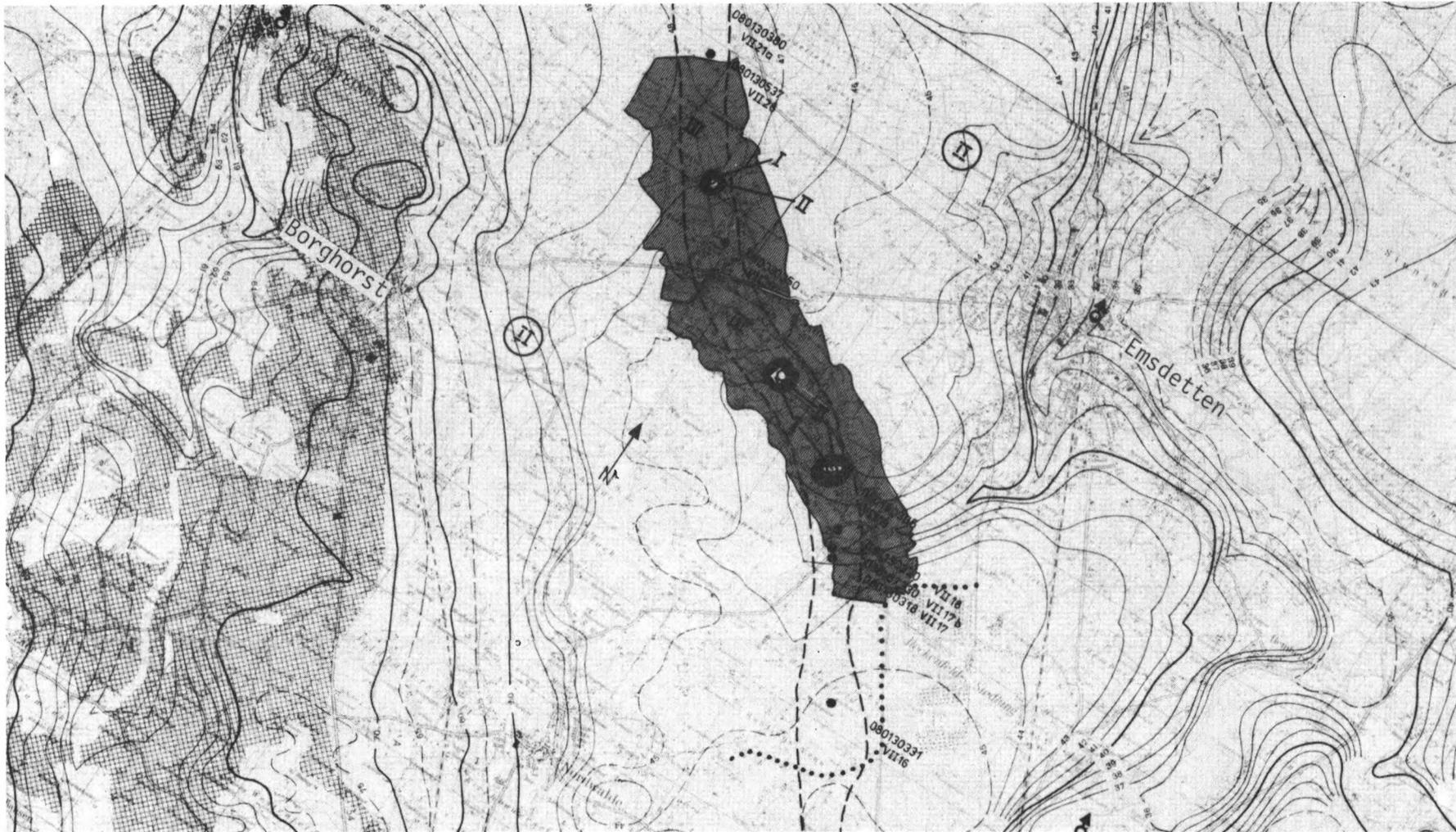


Abb. 31b: Grundwasser - Schutzgebietskarte im Bereich Emsdetten.
Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 31 e.

Abb. 31c: Grundwasser - Schutzgebietskarte im Bereich Greven.
Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 31 e.

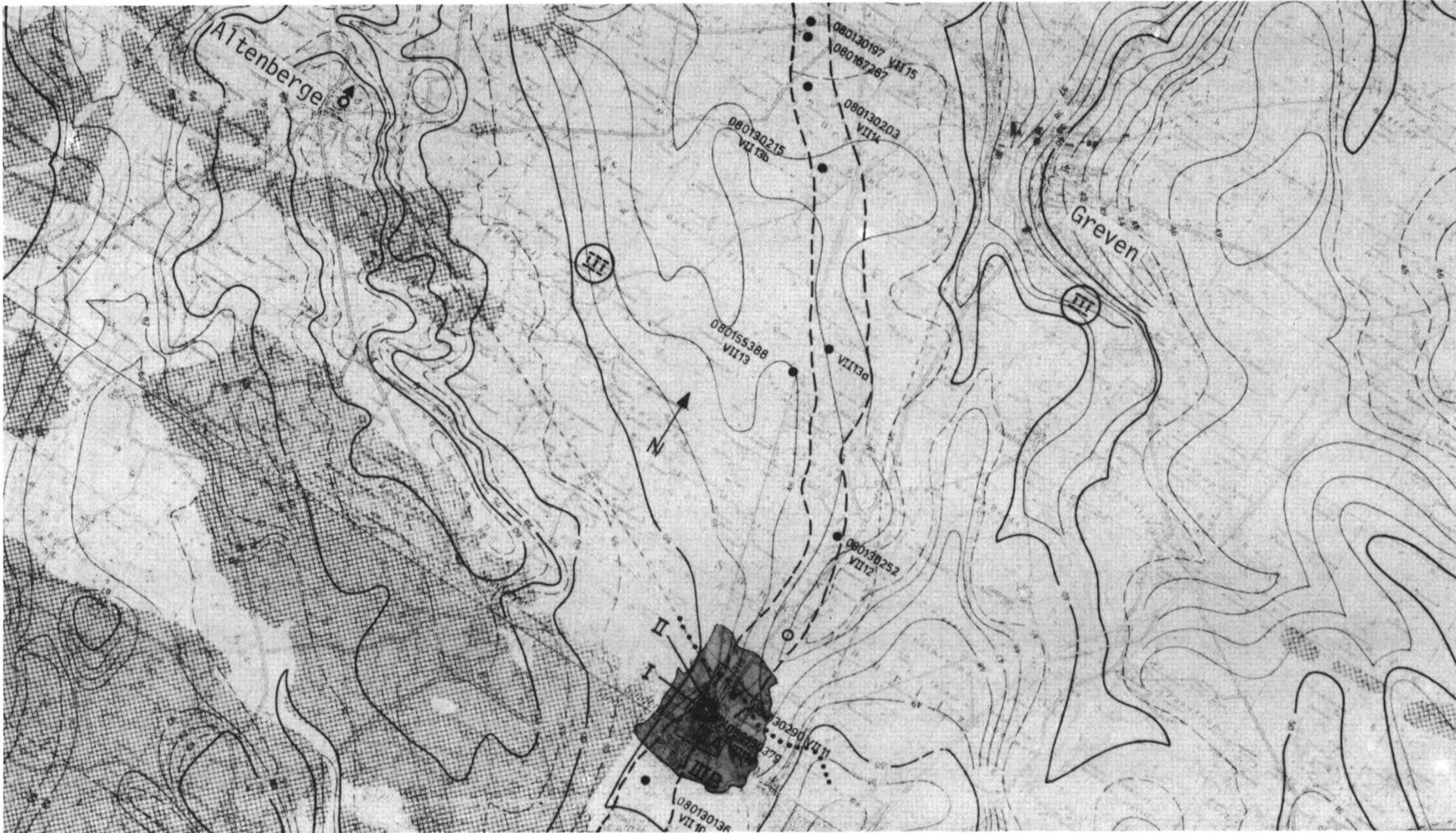




Abb. 31d: Grundwasser - Schutzgebietskarte im Bereich Münster.
Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb. 31 e.

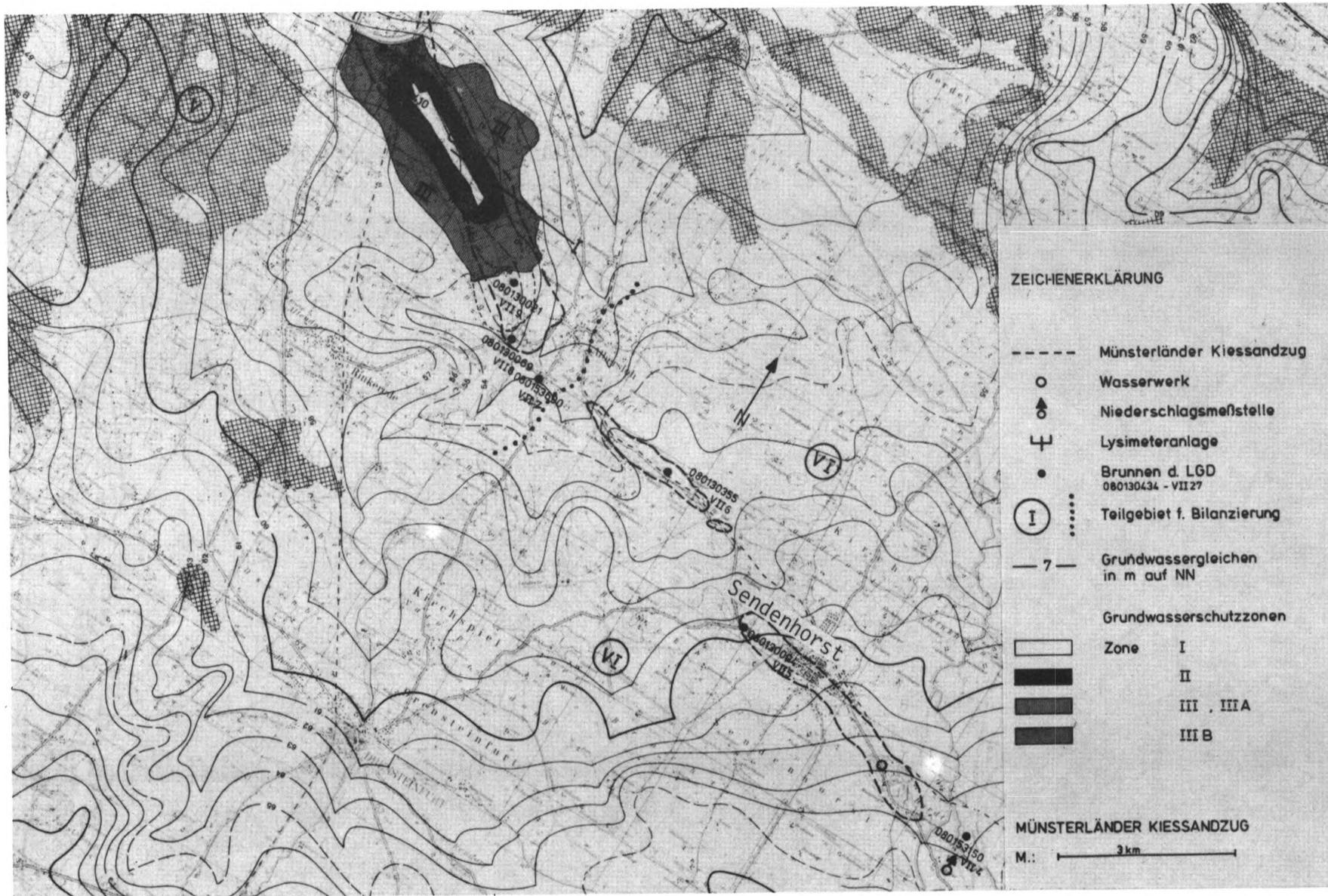


Abb. 31e: Grundwasser - Schutzgebietskarte im Bereich Sendenhorst

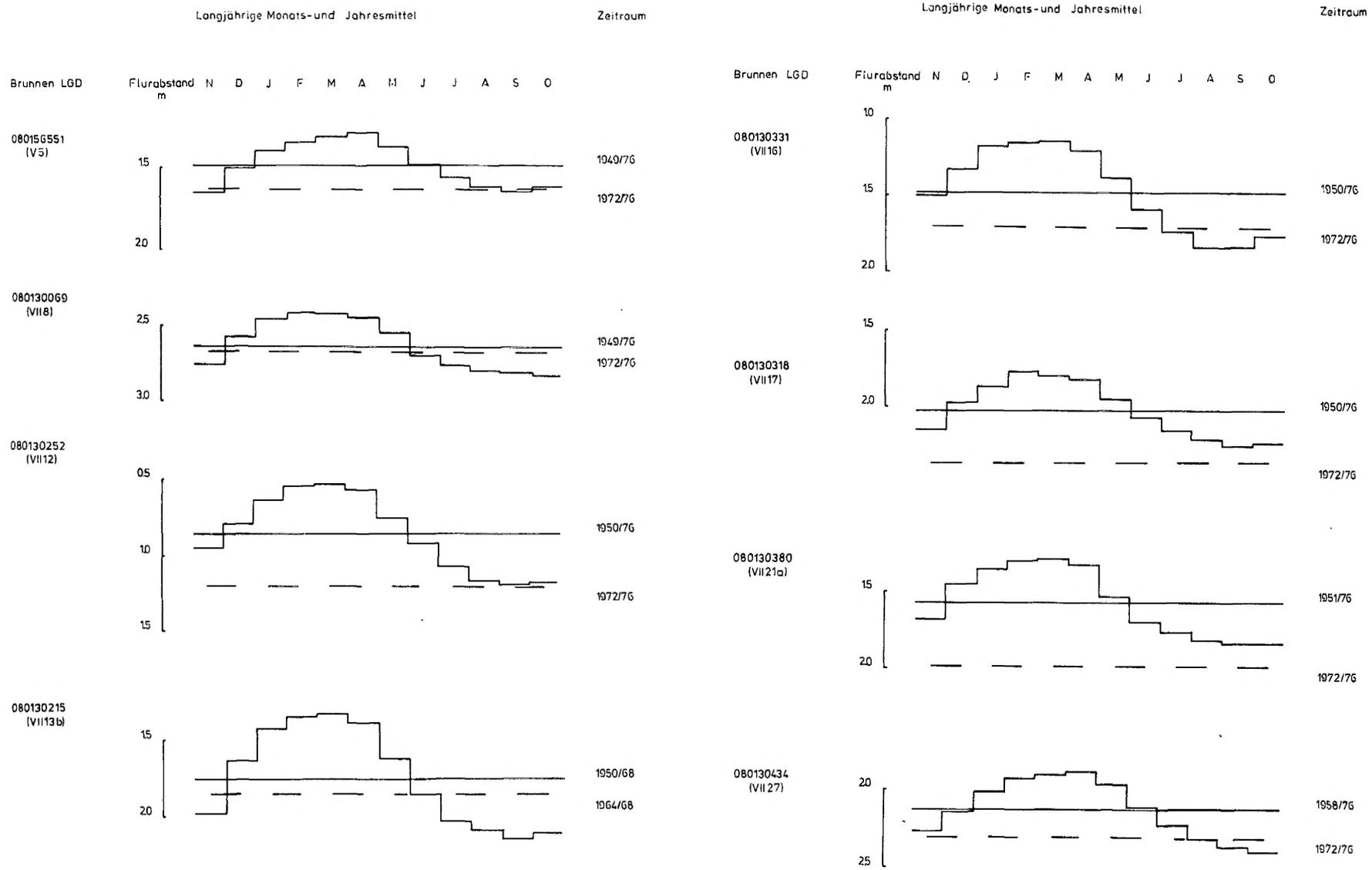
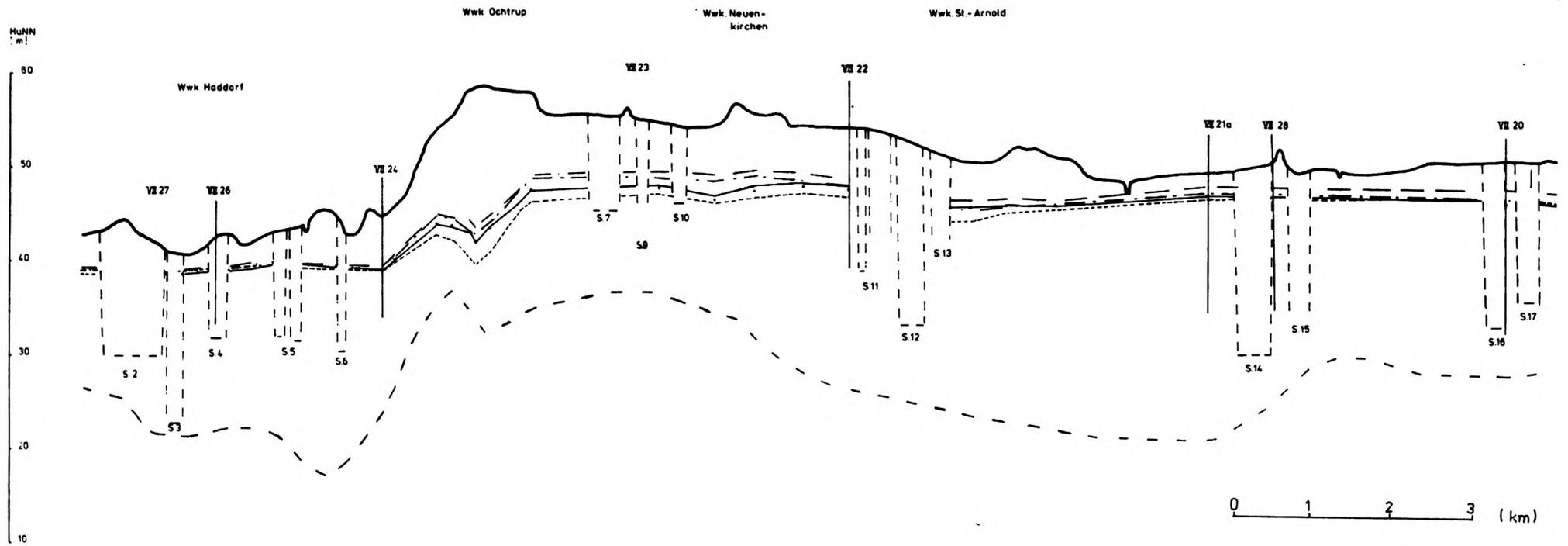


Abb. 32: Jahrgang und Vorratsschwankungen des Grundwassers im Münsterländer Kiessandzug.

Abb. 33a: Hydrologisches Profil durch den Münsterländer Kiessandzug.
 Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb.3a.
 Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb.33d.



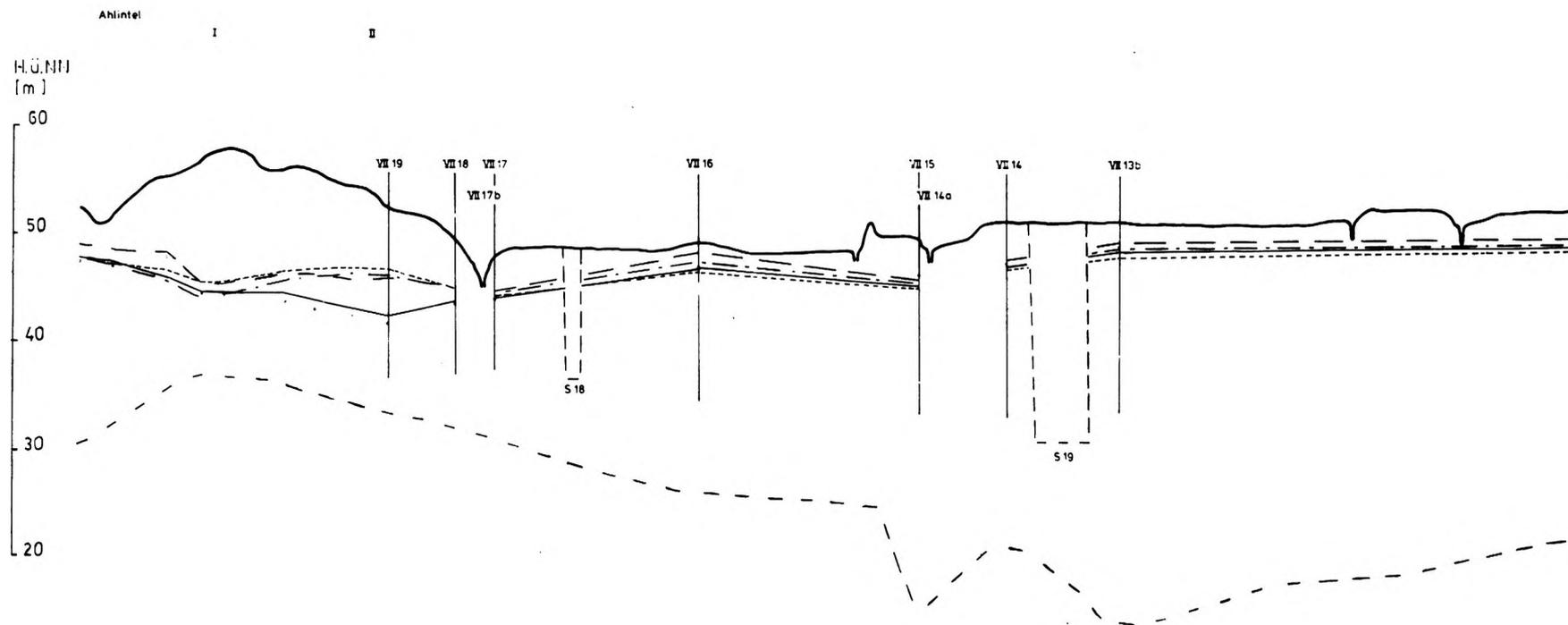
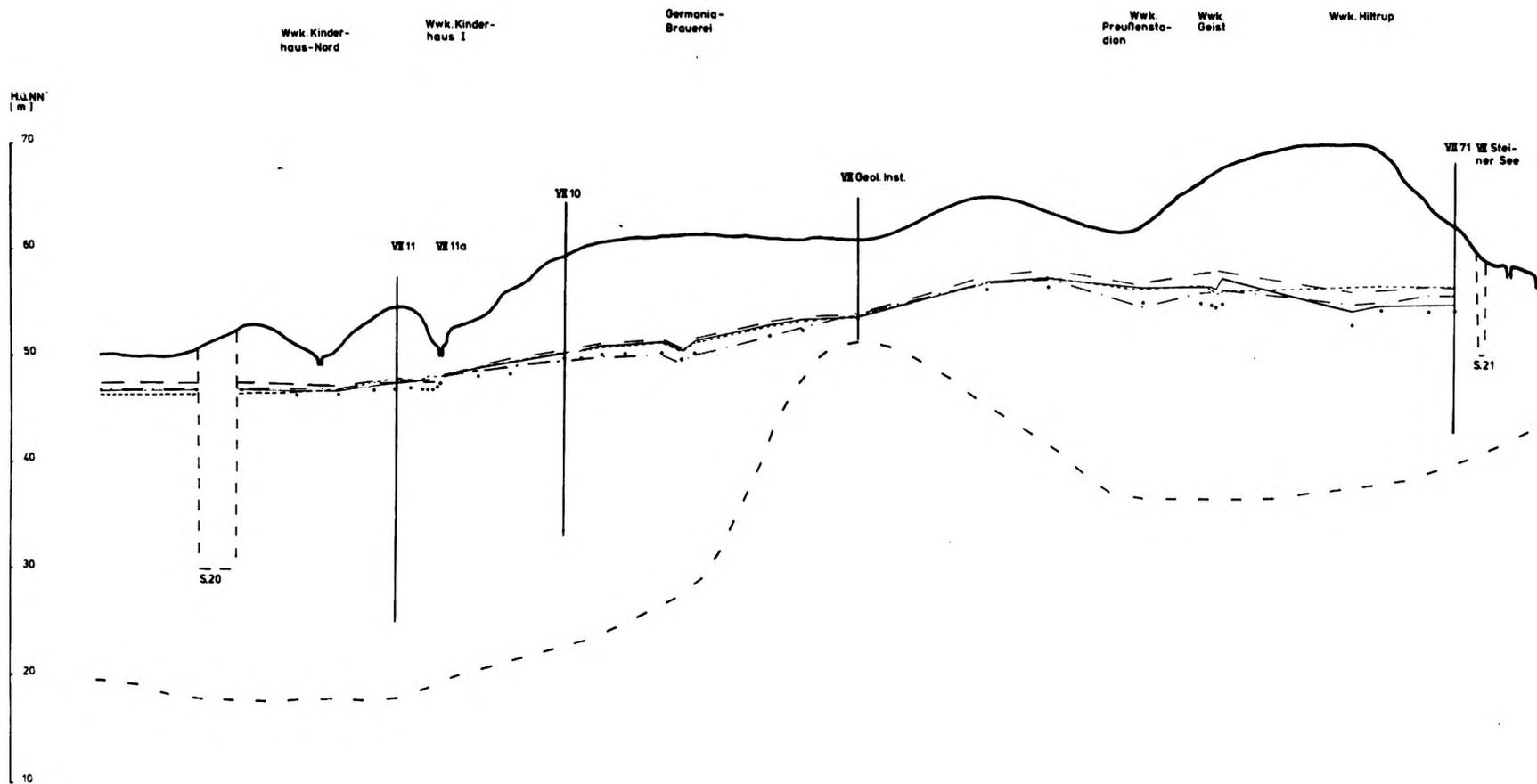


Abb. 33b: Hydrologisches Profil durch den Münsterländer Kiessandzug.
 Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb.3b.
 Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb.33d.

Abb. 33c: Hydrologisches Profil durch den Münsterländer Kiessandzug.
 Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb.3c.
 Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb.33d.



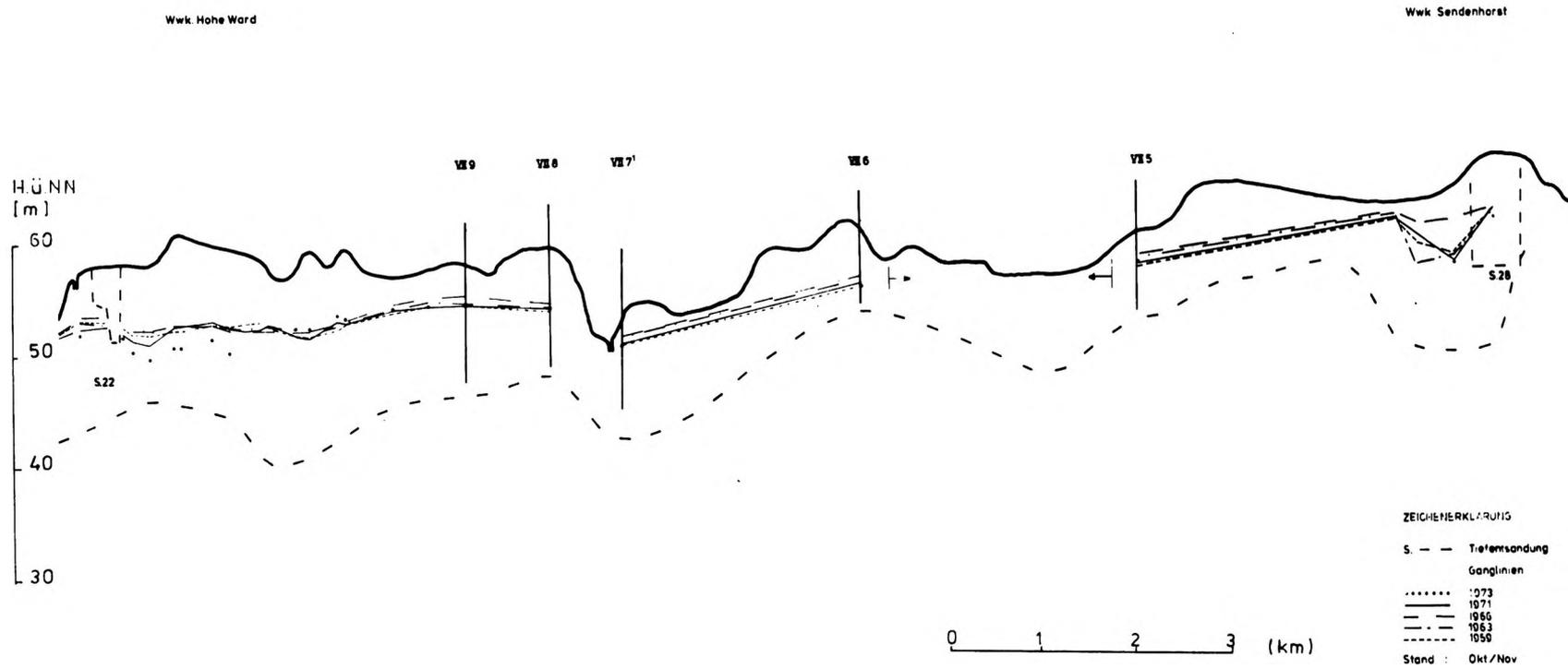


Abb. 33d: Hydrologisches Profil durch den Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb.3d.

Abb. 34: Tracerversuche und Durchlässigkeitsbeiwerte im Münsterländer Kiessandzug.

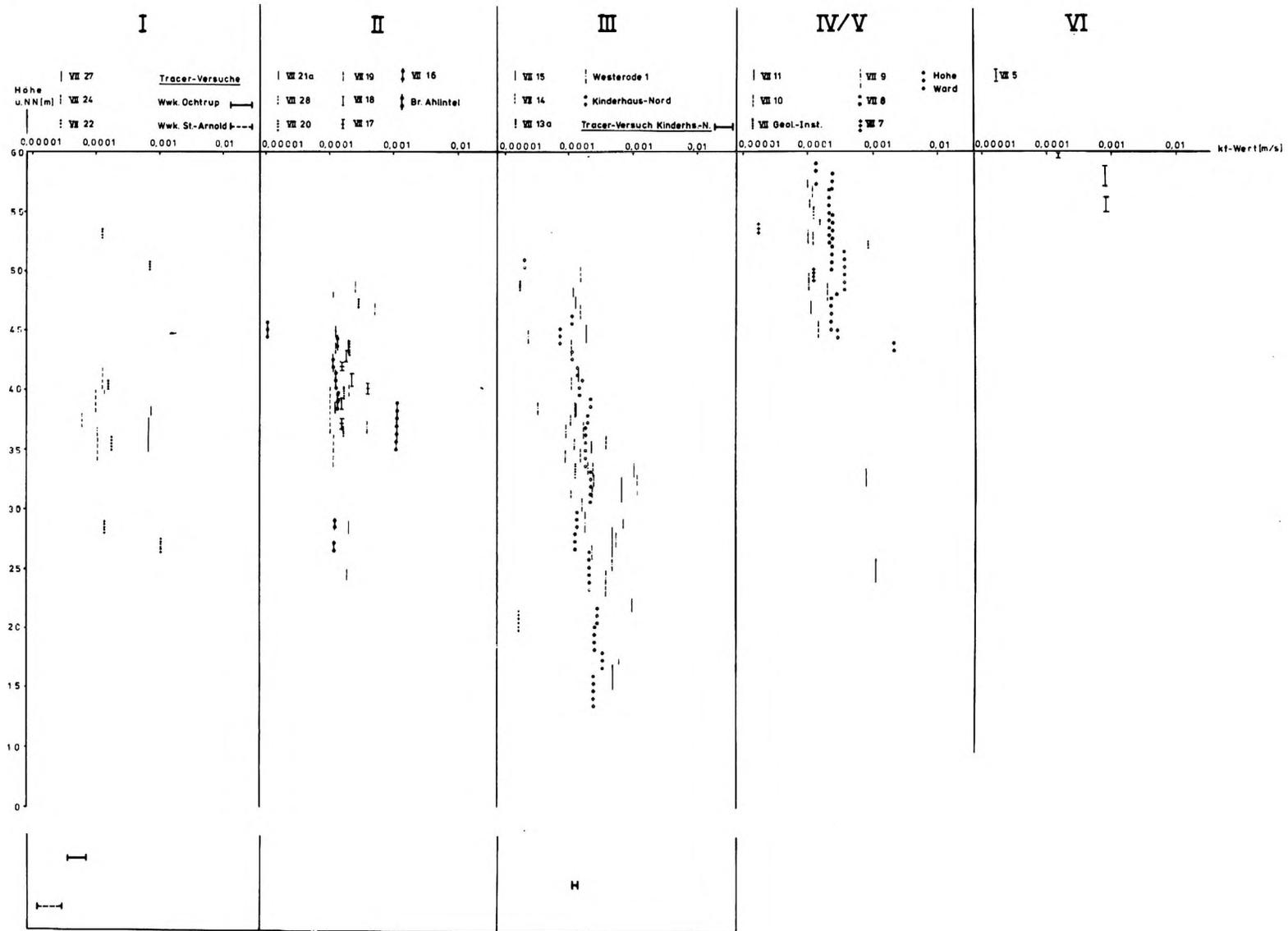




Abb. 35: Entwicklung der Wasserförderung im Münsterländer Kiessandzug.

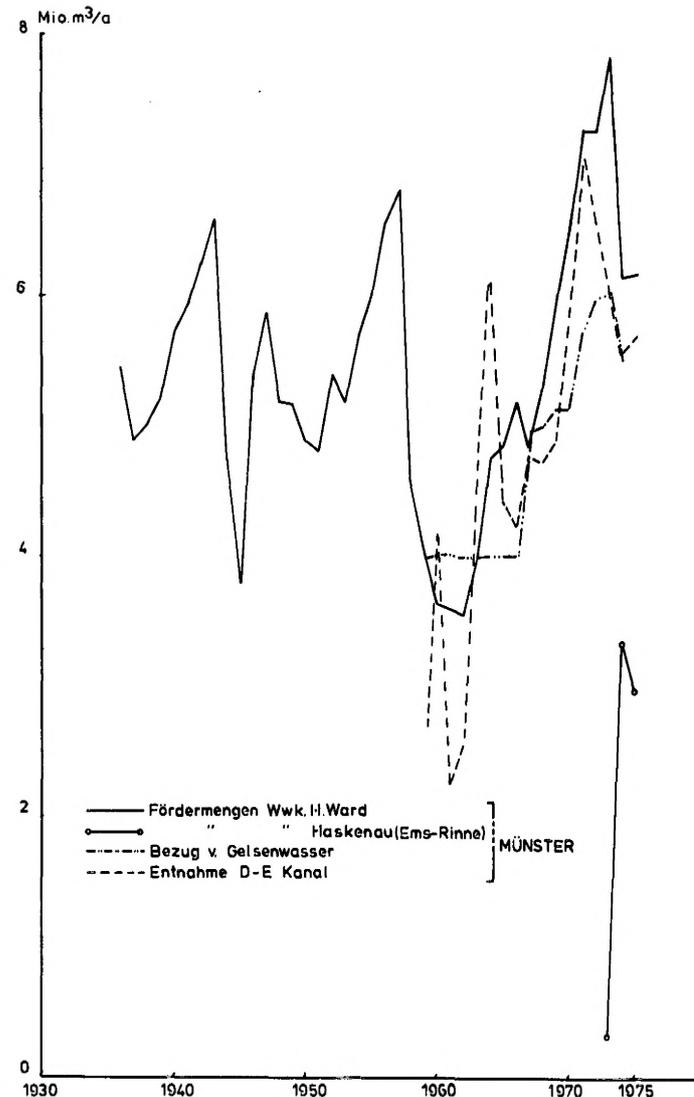


Abb. 36: Entwicklung der Wasserförderung im Münsterländer Kiessandzug.

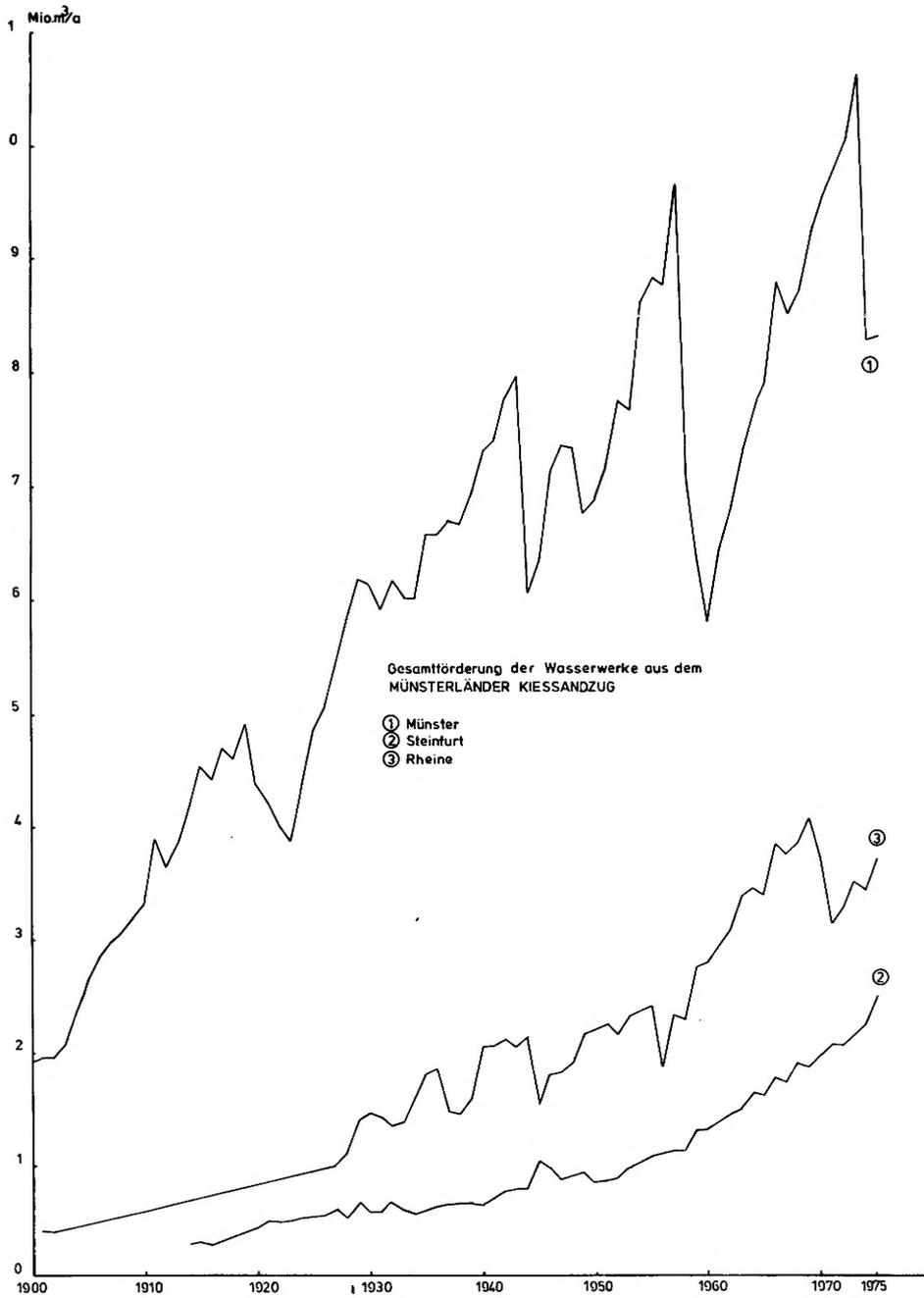


Abb. 37: Entwicklung der Wasserförderung im Münsterländer Kiessandzug.

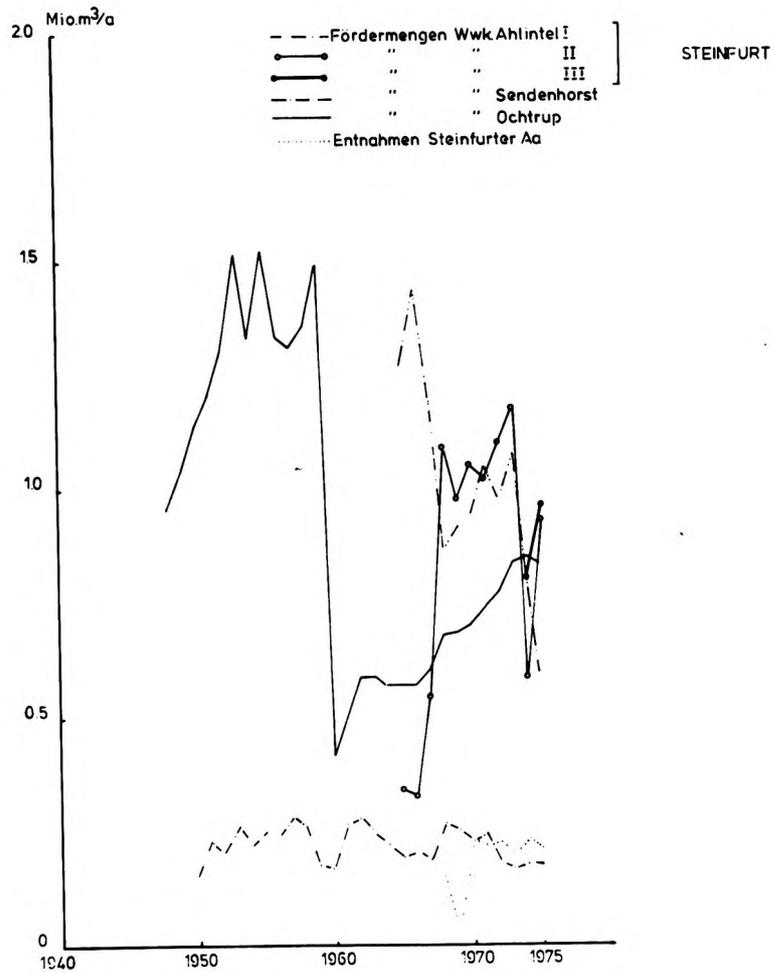


Abb. 38: Entwicklung der Wasserförderung im Münsterländer Kiessandzug.

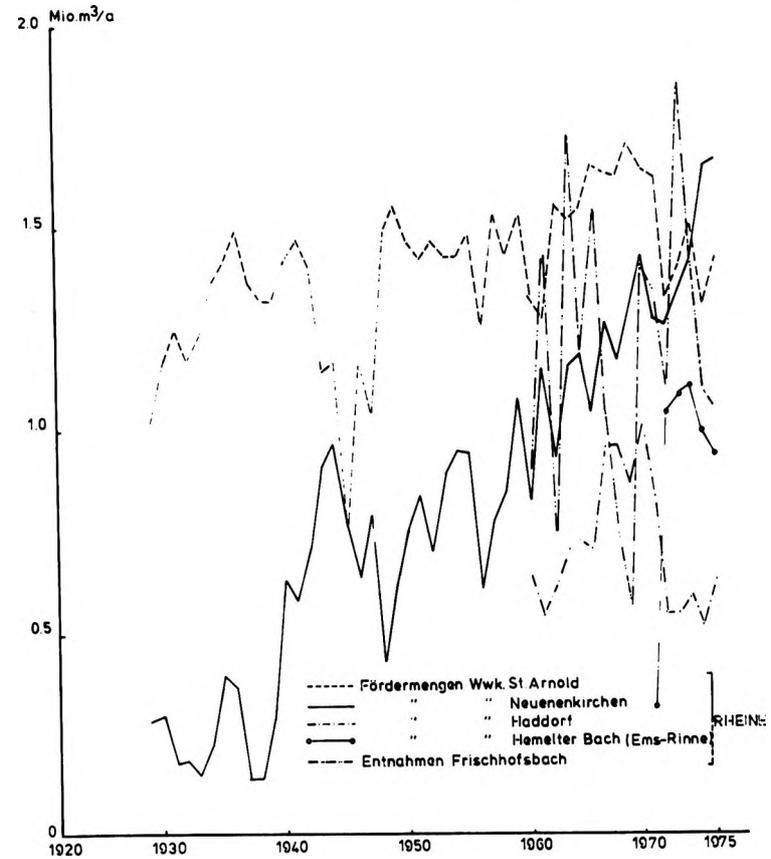
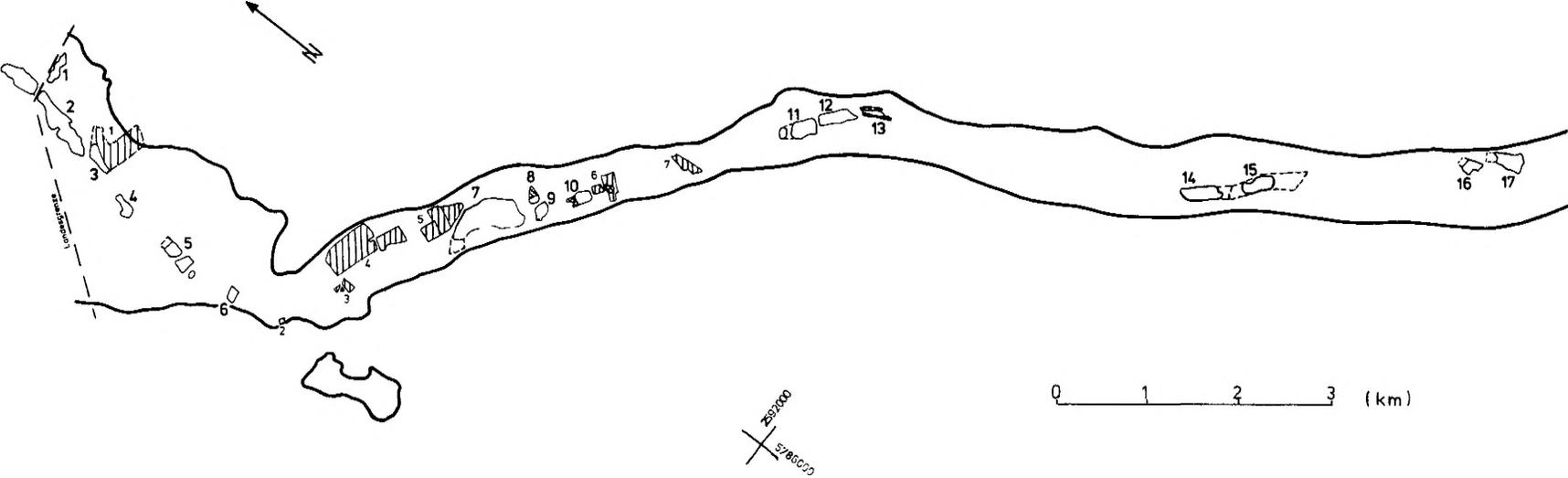


Abb. 39: Entwicklung der Wasserförderung im Münsterländer Kiessandzug.

Abb. 40a: Karte der Abgrabungen im Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb.2.
Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb.40d.



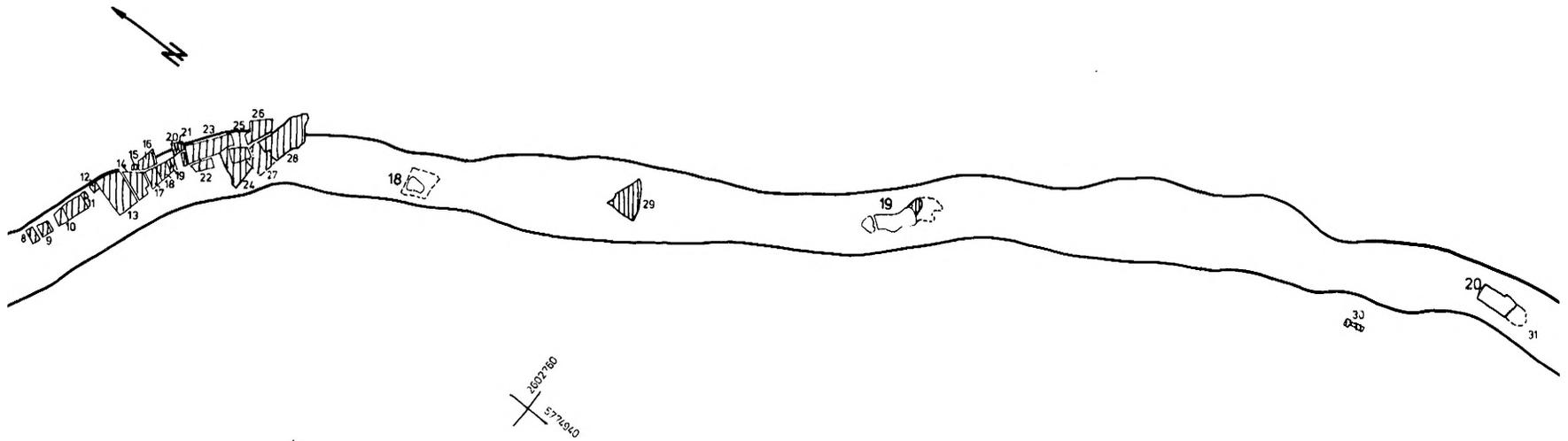
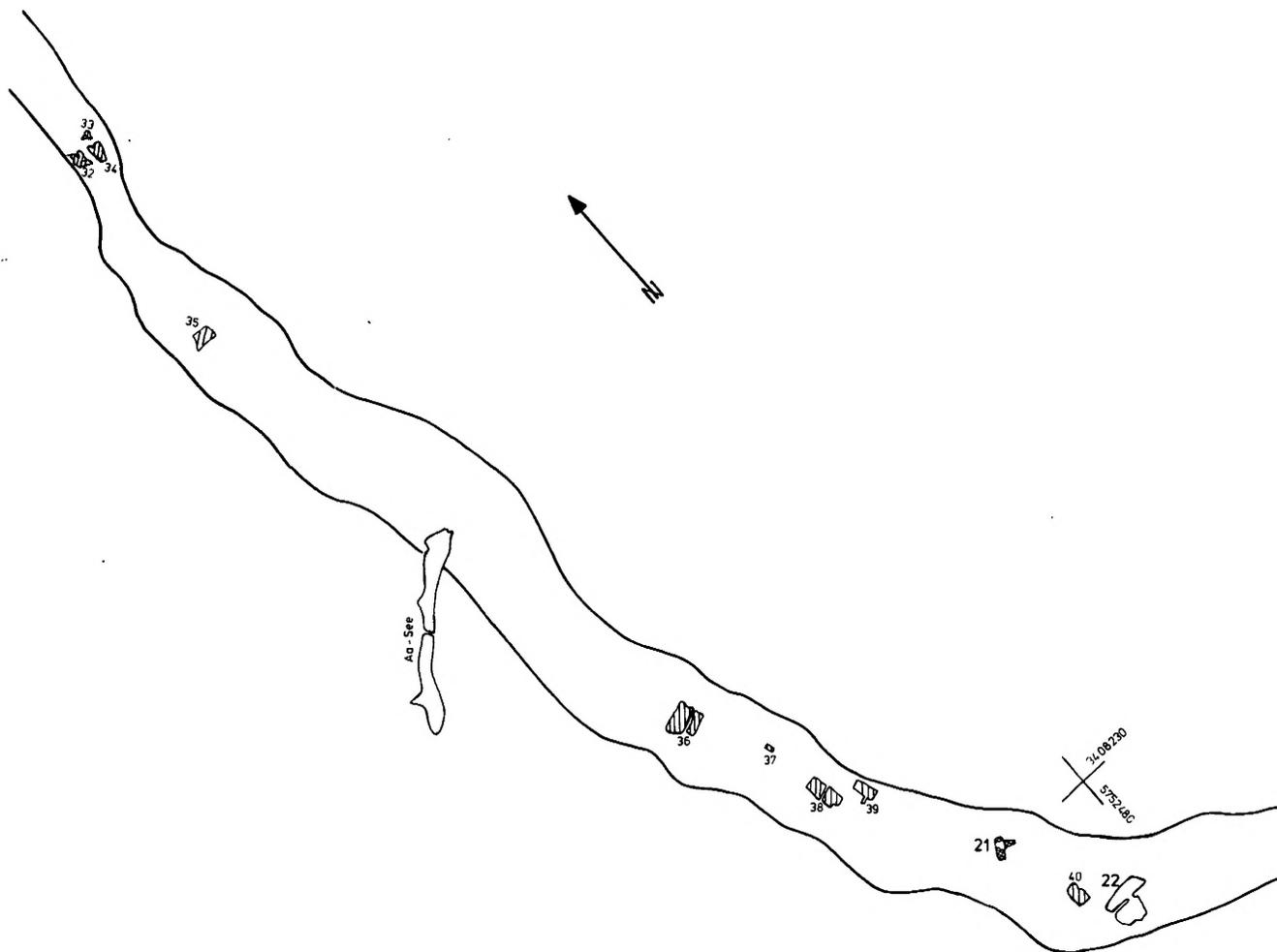


Abb. 40b: Karte der Abgrabungen im Münsterländer Kiessandzug.
 Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb.2.
 Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb.40d.

Abb. 40c: Karte der Abgrabungen im Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb.2.
Eine Zeichenerklärung findet sich auf Abb.40d.



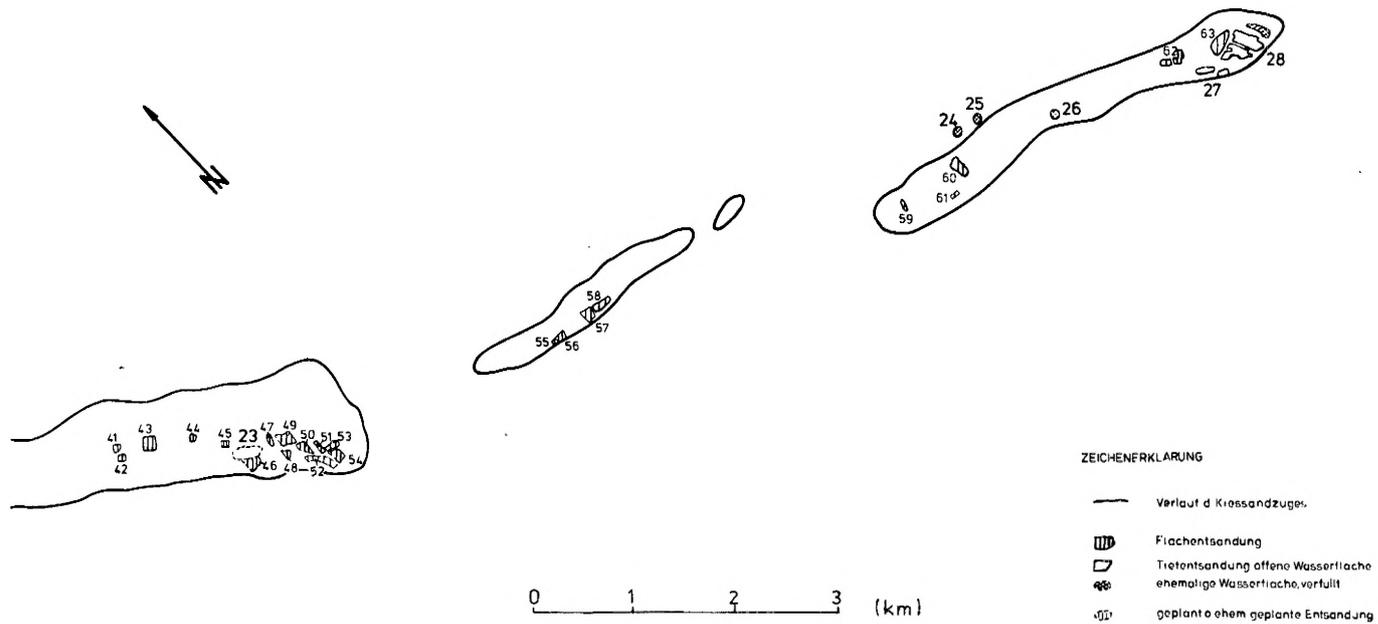


Abb. 40d: Karte der Abgrabungen im Münsterländer Kiessandzug.
Die Lage entspricht dem Kartenausschnitt der Abb. 2.

Abb. 41: Versorgte Einwohner im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.

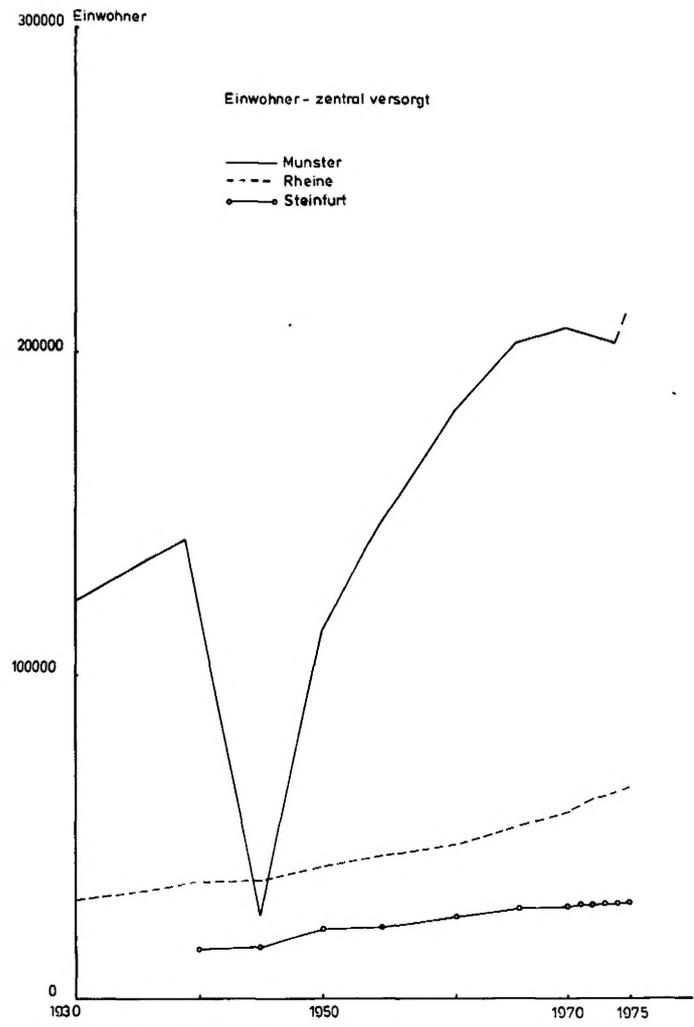
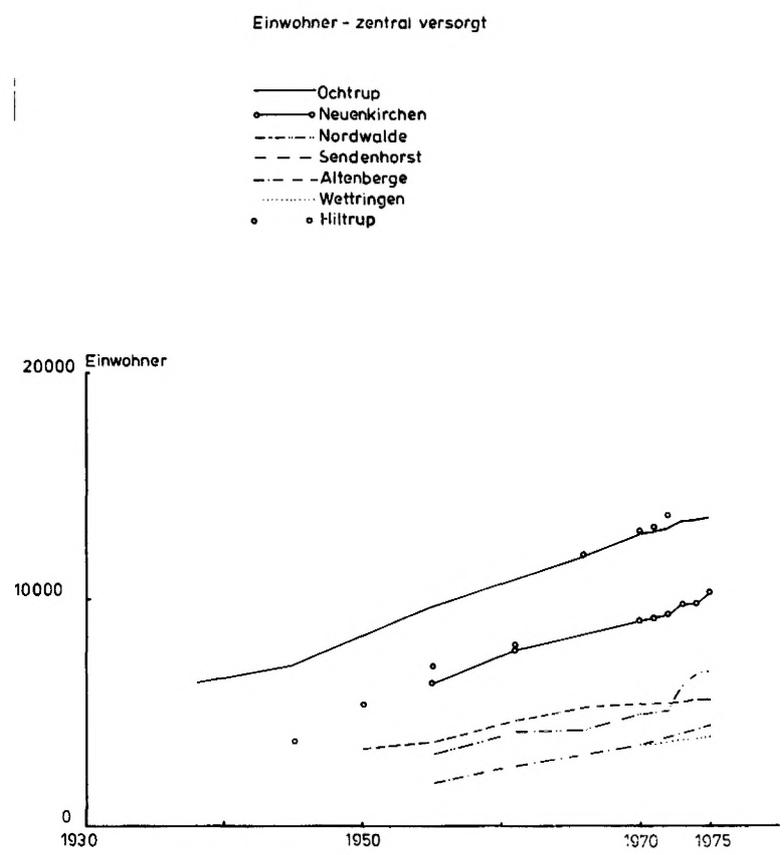


Abb. 42: Versorgte Einwohner im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.



Wasserverbrauch - Haushalte und Kleingewerbe

— Münster
 - - - Rheine
 ○ - Steinfurt

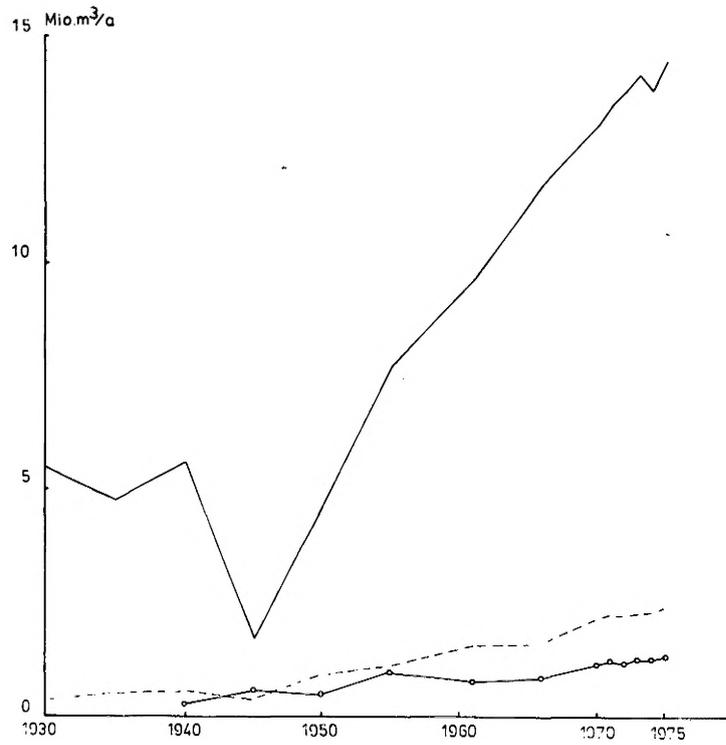


Abb. 43: Wasserverbrauch im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.

Wasserverbrauch - Haushalte und Kleingewerbe

— Ochtrup
 ○ - Neuenkirchen
 - - - Nordwalde
 - - - Sendenhorst
 - - - Altenberge
 ○ - Wettringen
 ○ - Hiltrup

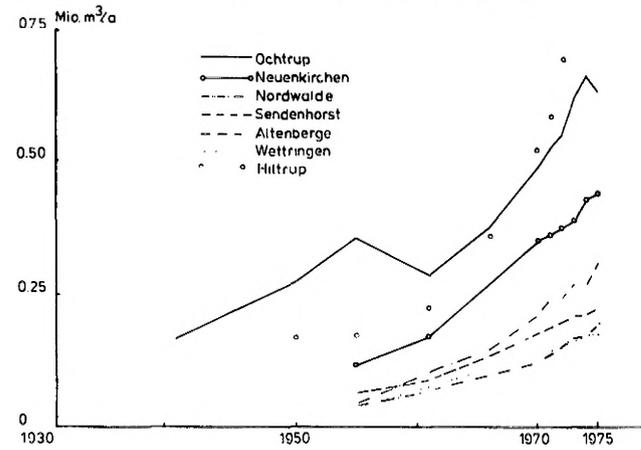


Abb. 44: Wasserverbrauch im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.

Abb. 45: Wasserverbrauch im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.

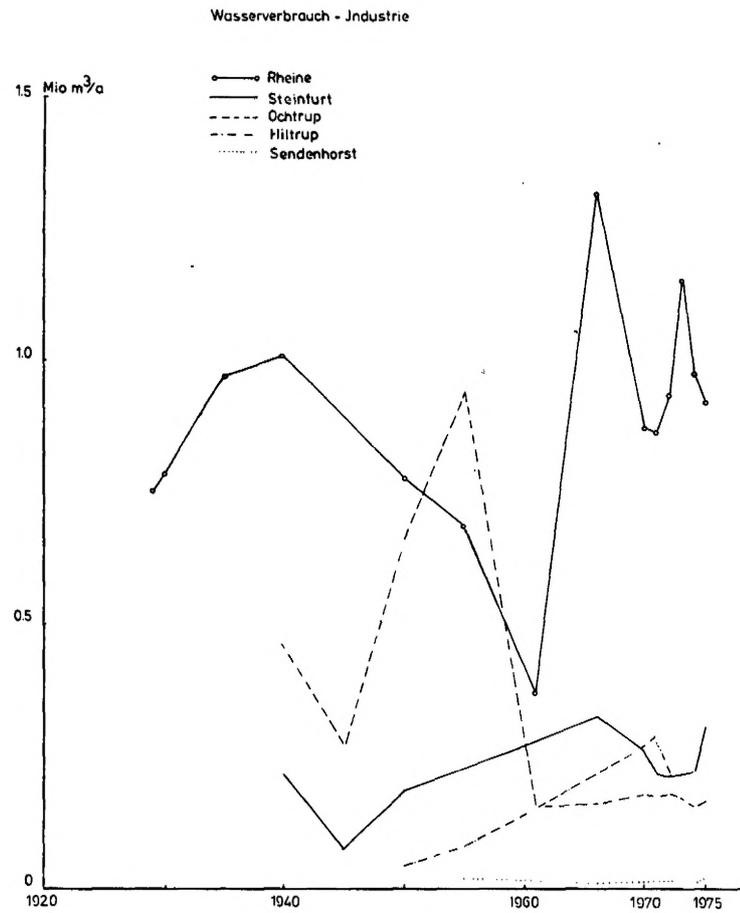
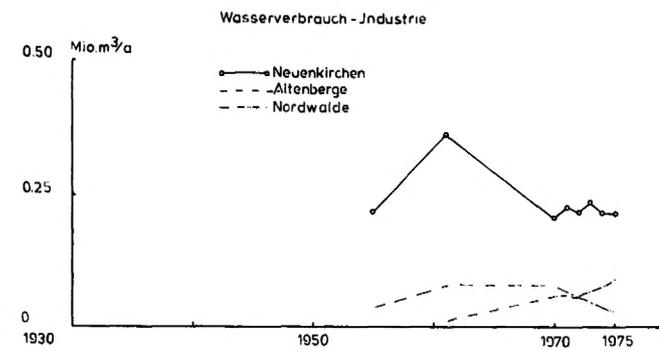


Abb. 46: Wasserverbrauch im Bereich des Münsterländer Kiessandzuges.



Zeichenerklärung für die Abb. 47 - 54
der chemischen Analysen von Wasserwerken
im Münsterländer Kiessandzug

Stadtwerke Münster:

Preußenstation	—————
Geist	- - - - -
Hiltrup	- · - · -
Hohe Wart	· · · · ·
Kinderhaus	○ ——— ○

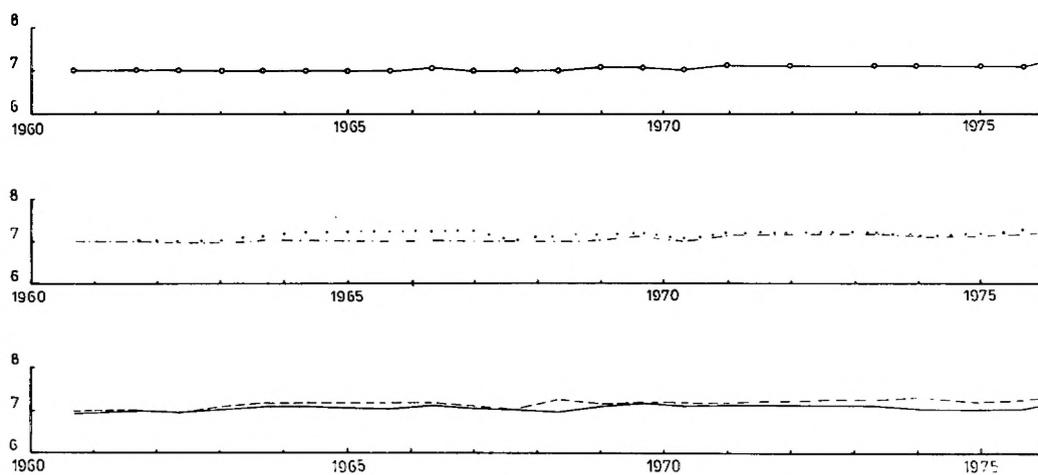


Abb. 47: pH-Werte der Wasserwerke Münster.

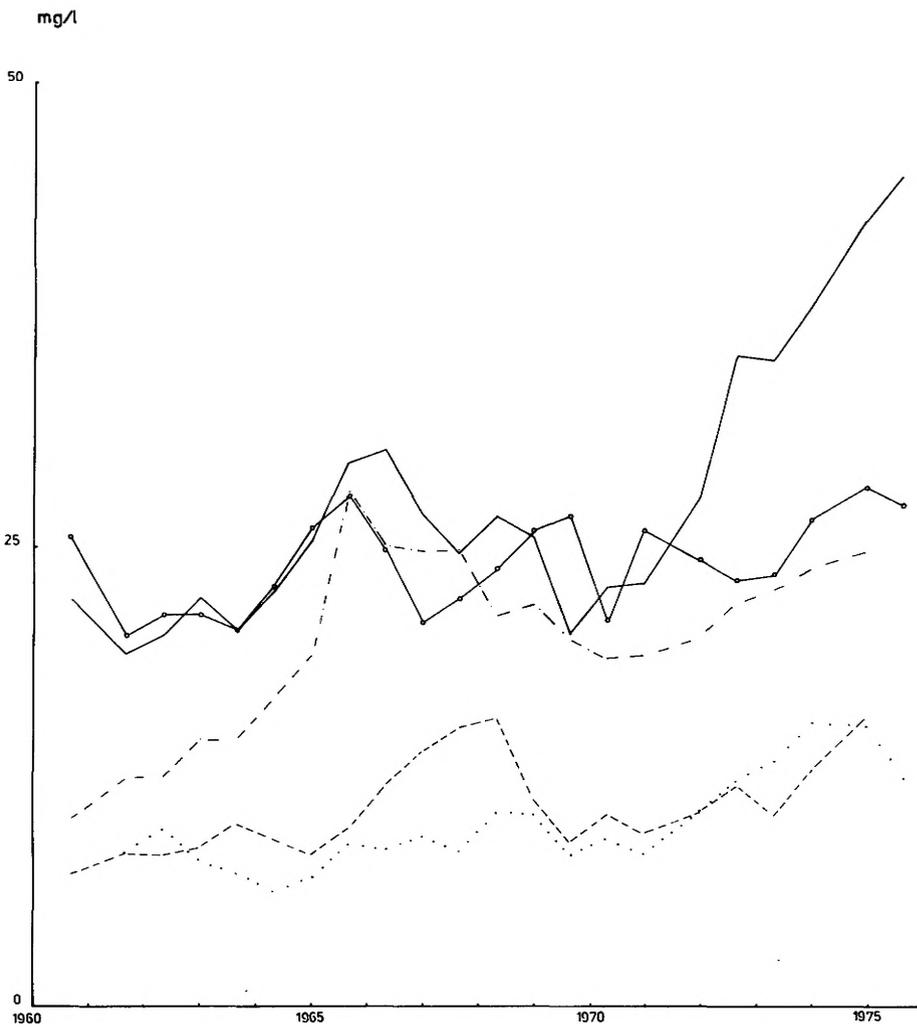


Abb. 48: Freie Kohlensäure der Wasserwerke Münster.

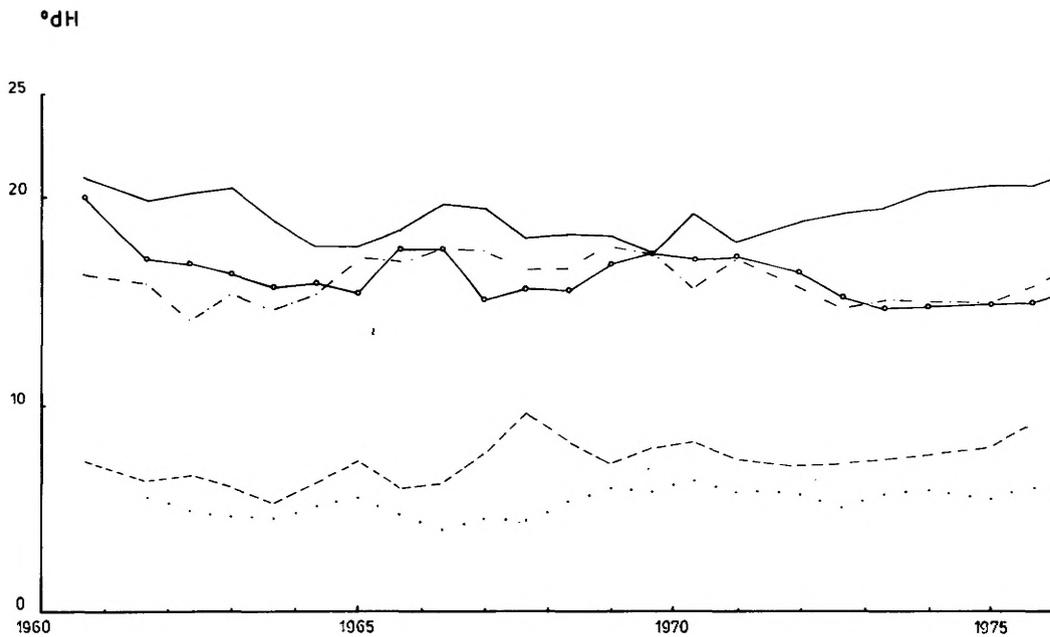


Abb. 49: Gesamthärten der Wasserwerke Münster.

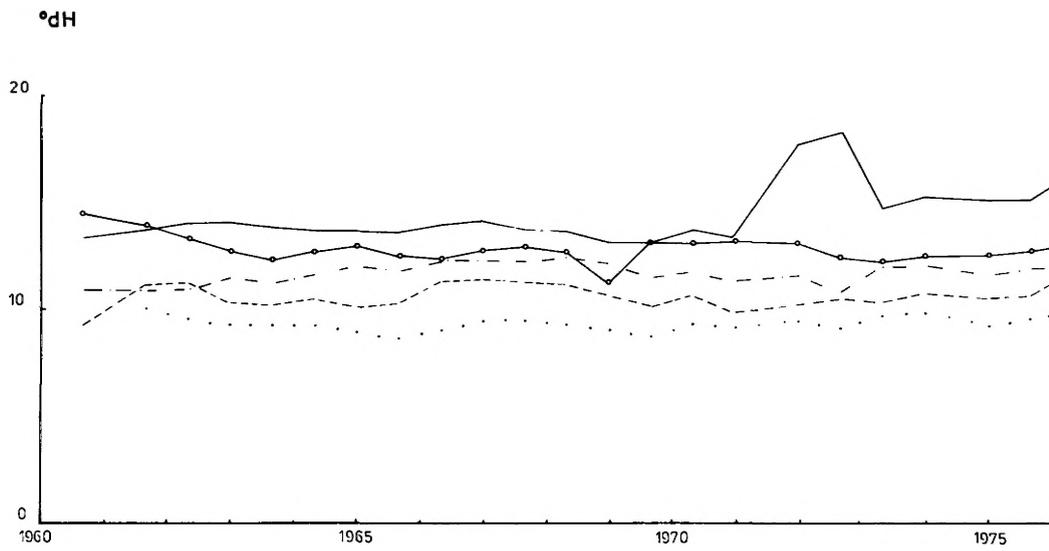


Abb. 50: Karbonathärten der Wasserwerke Münster.

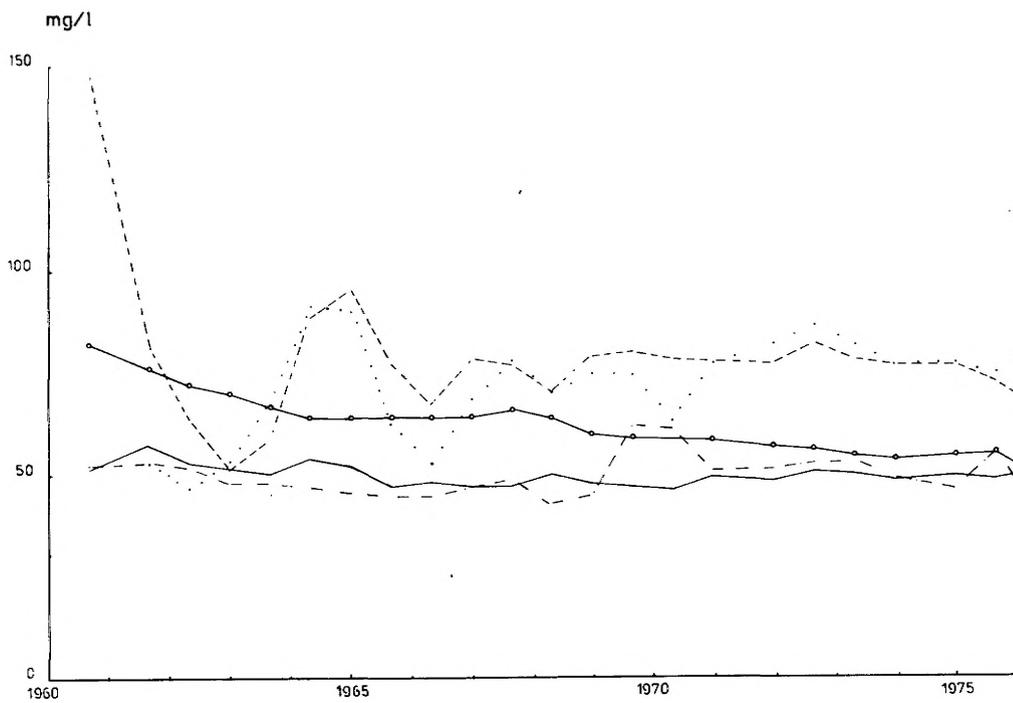


Abb. 51: Chloride der Wasserwerke Münster.

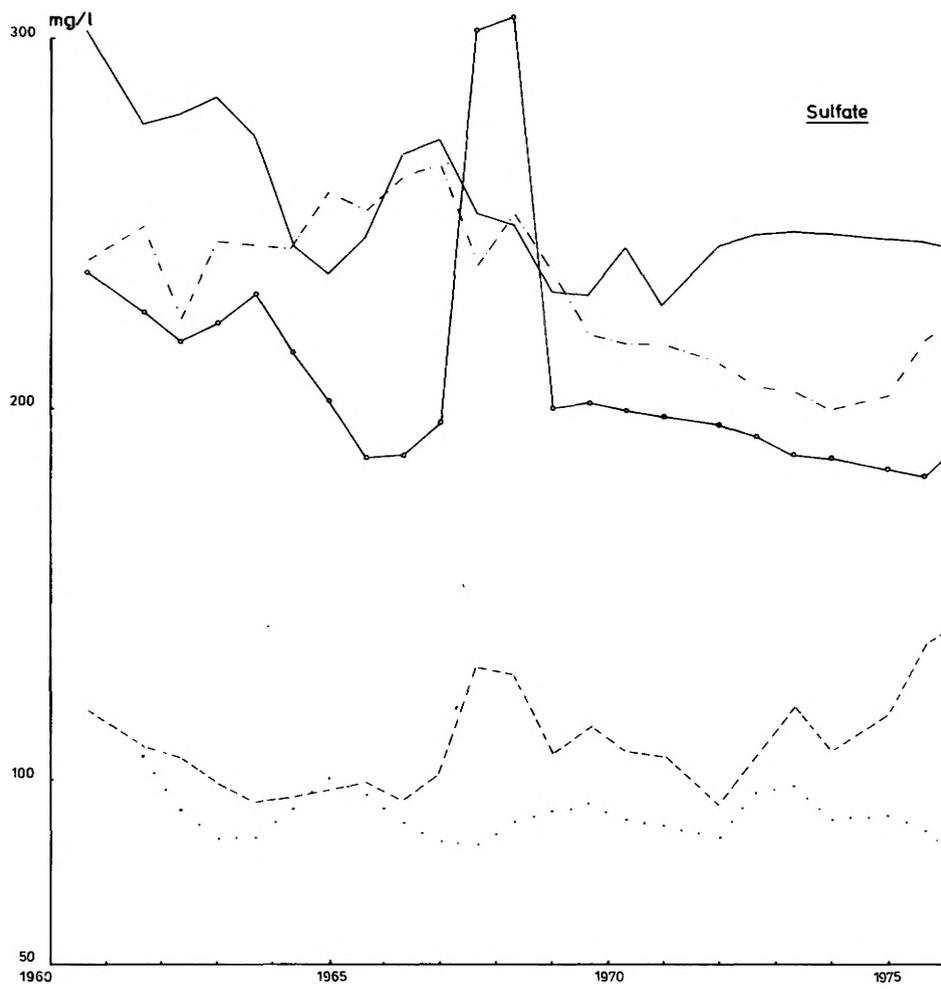


Abb. 52: Sulfate der Wasserwerke Münster.

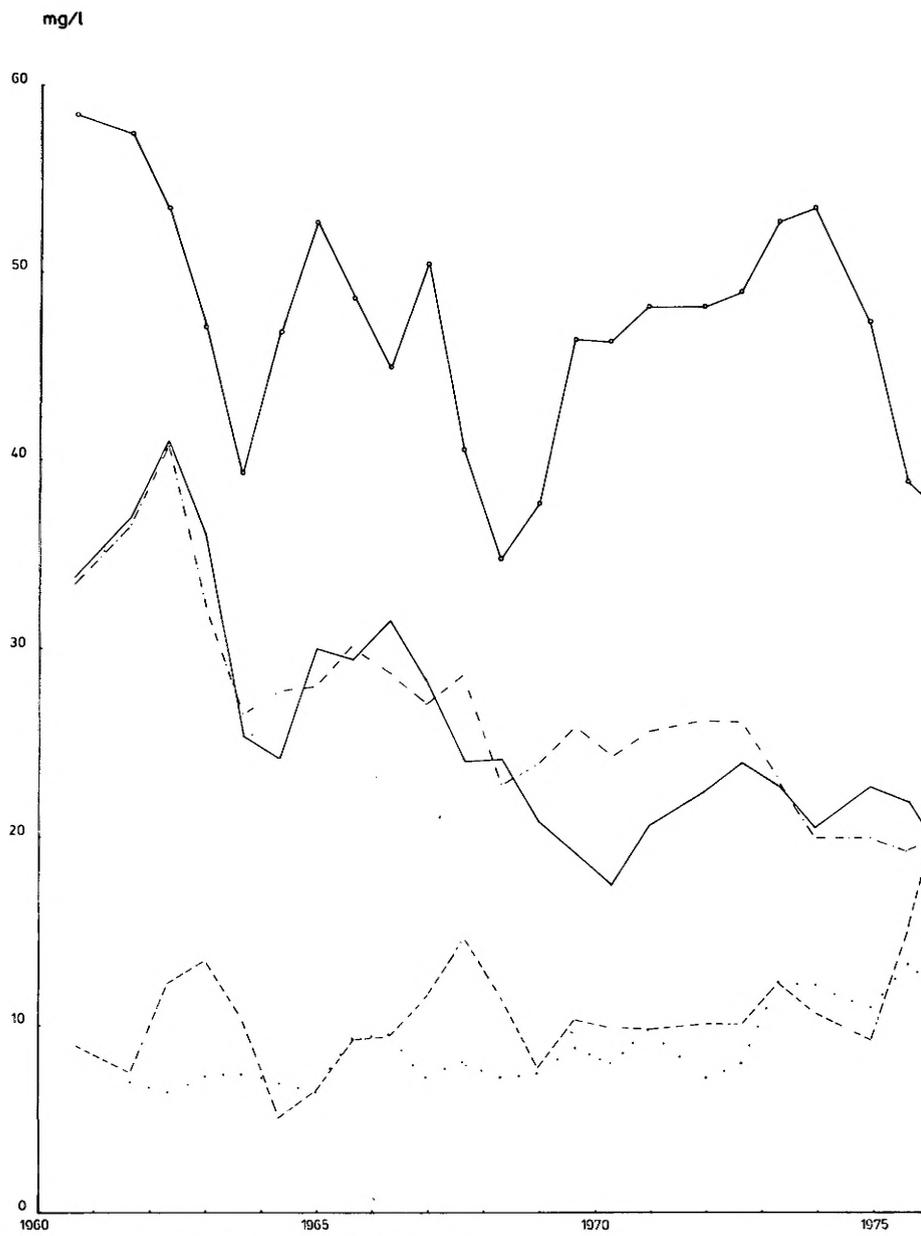


Abb. 53: Nitrate der Wasserwerke Münster.

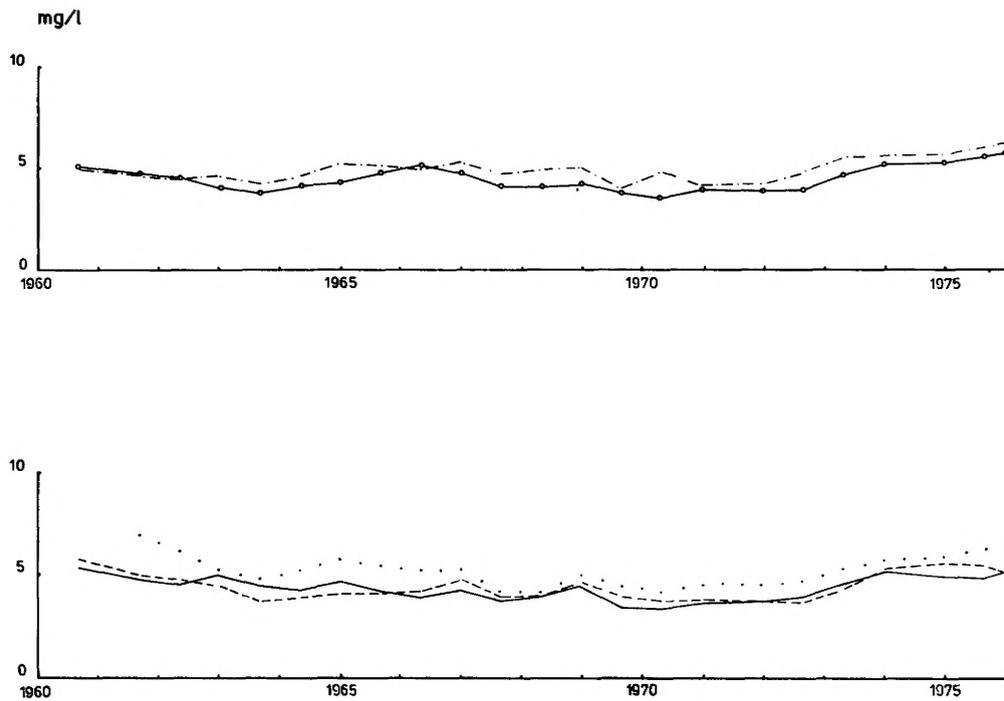


Abb. 54: Kaliumpermanganatverbrauch der Wasserwerke Münster.

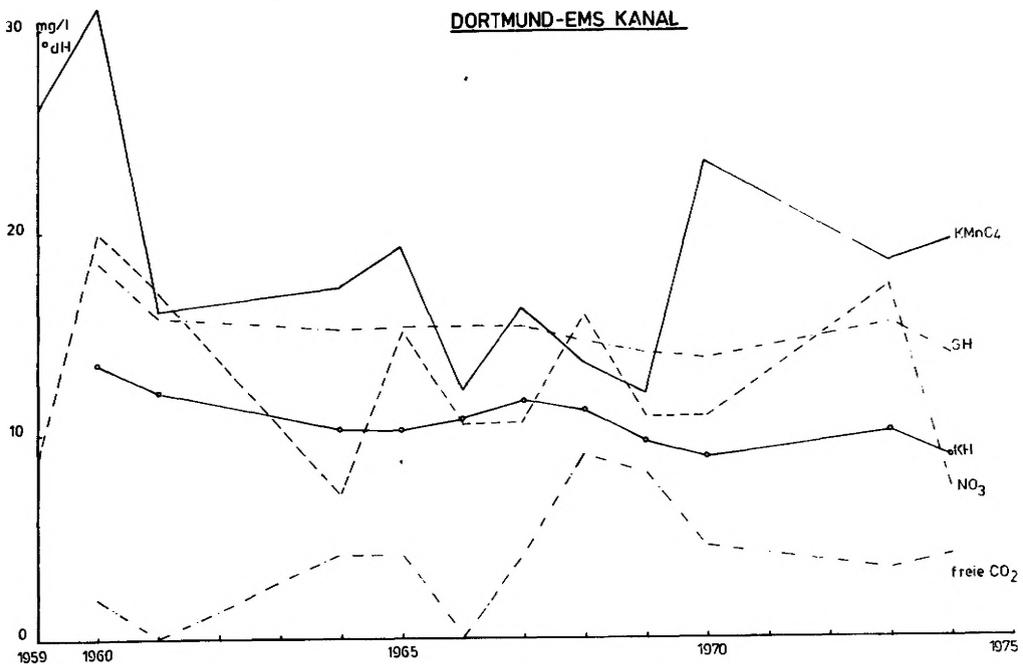


Abb. 55: Chemische Analysen des Dortmund-Ems-Kanals.

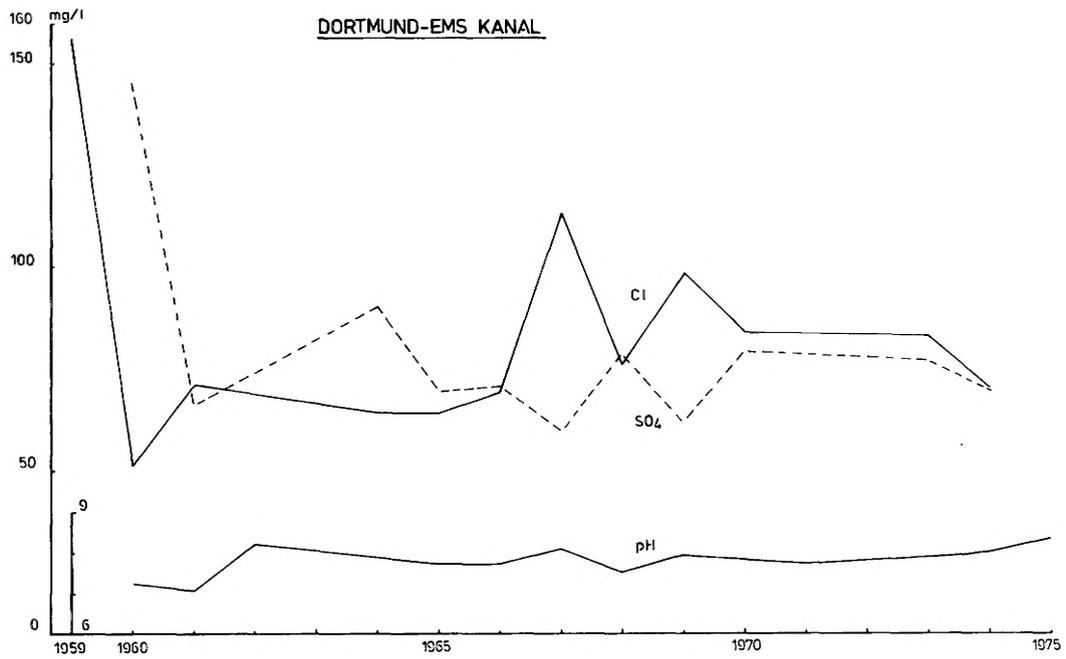


Abb. 56: Chemische Analysen des Dortmund-Ems-Kanals.

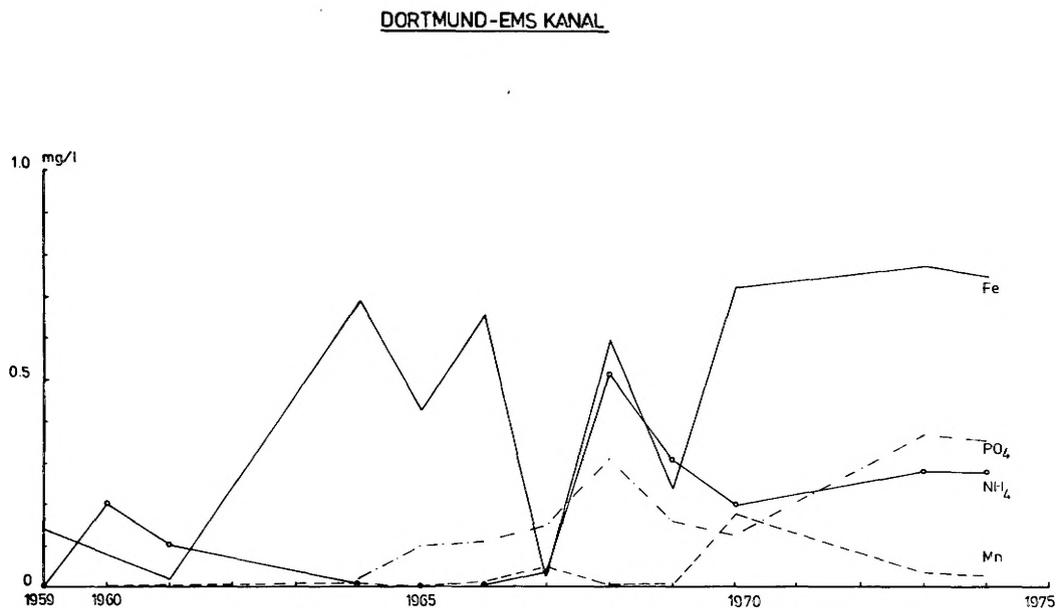


Abb. 57: Chemische Analysen des Dortmund-Ems-Kanals.

Abb. 58: Chemische Analysen der Germania Brauerei.

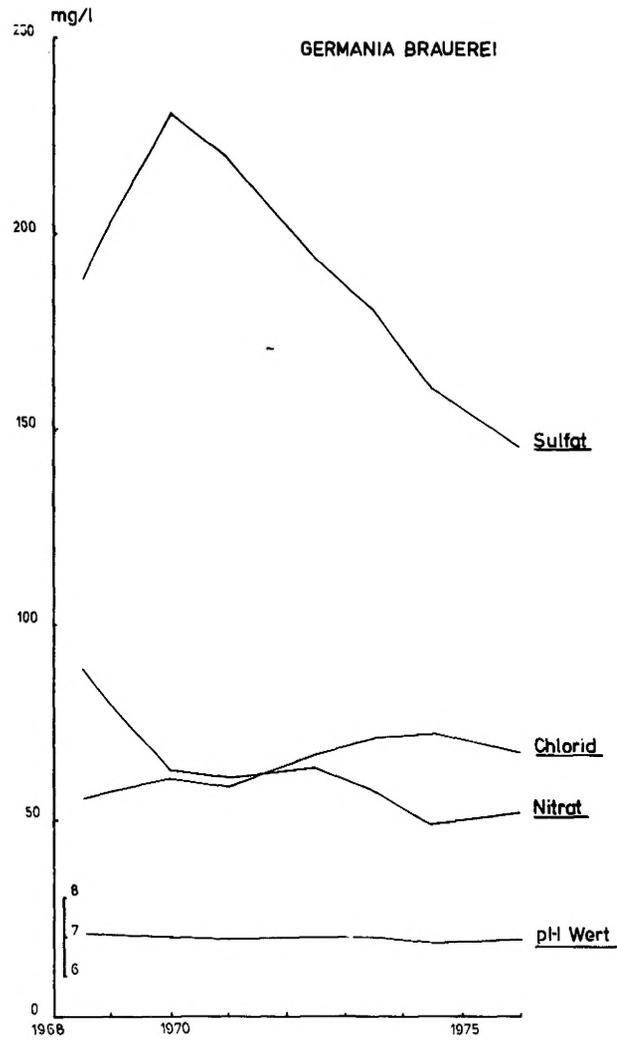
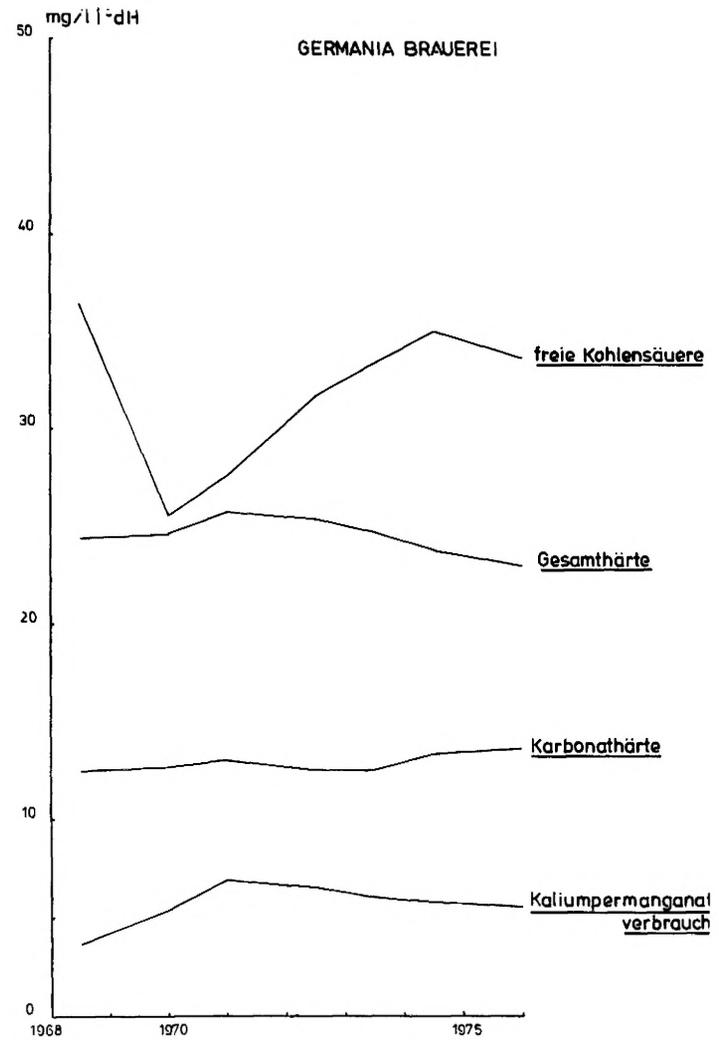


Abb. 59: Chemische Analysen der Germania Brauerei.



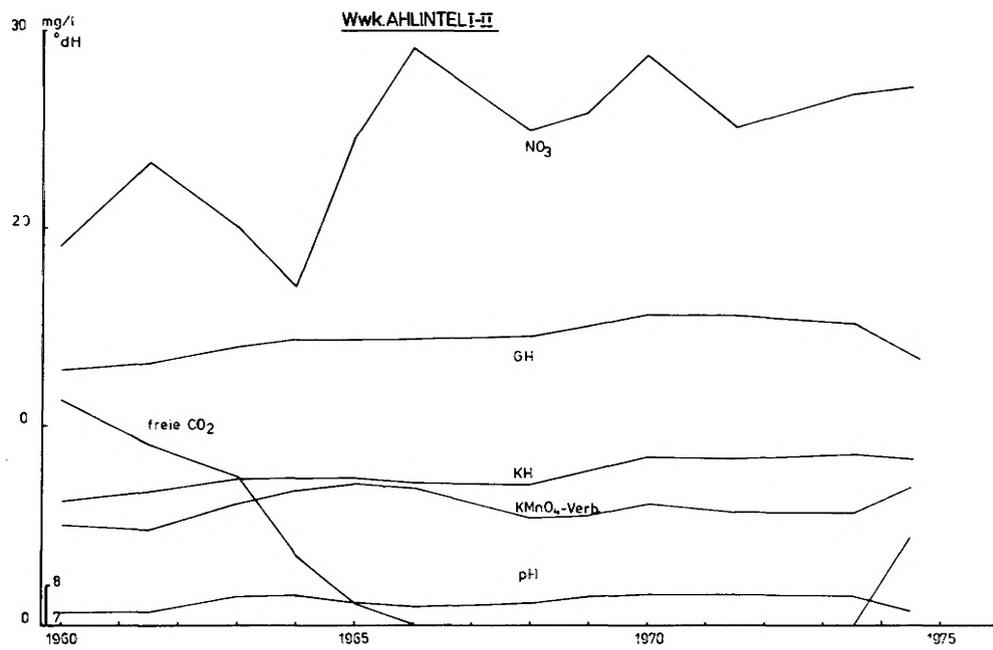


Abb. 60: Chemische Analysen des Wasserwerkes Ahlintel.

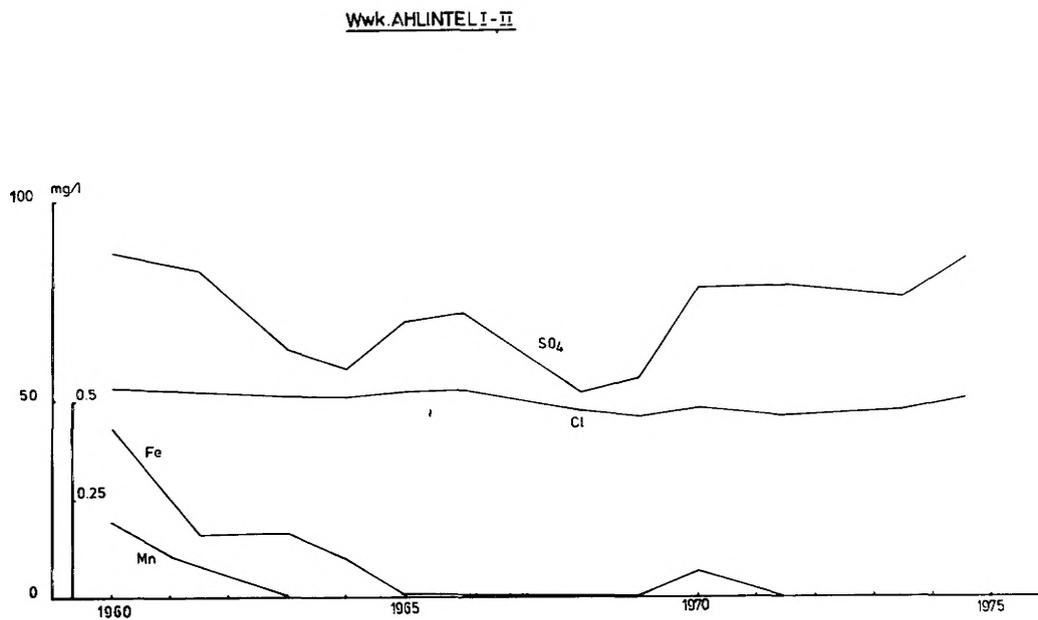


Abb. 61: Chemische Analysen des Wasserwerkes Ahlintel.

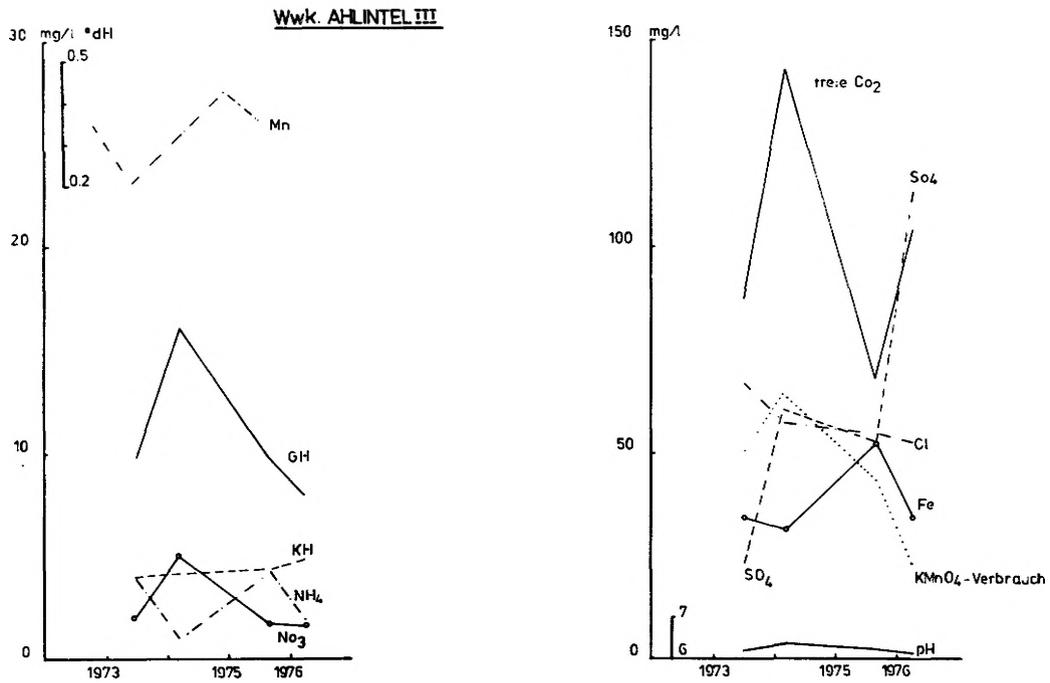


Abb. 62: Chemische Analysen des Wasserwerkes Ahlintel.

Zeichenerklärung für die Abb. 63 - 70
 der chemischen Analysen von Wasserwerken
 im Münsterländer Kiessandzug

Stadtwerte Rheine/Ochtrup:

- St. Arnold - - - - -
- Neuenkirchen - . - . - . -
- Haddorf
- Ochtrup _____

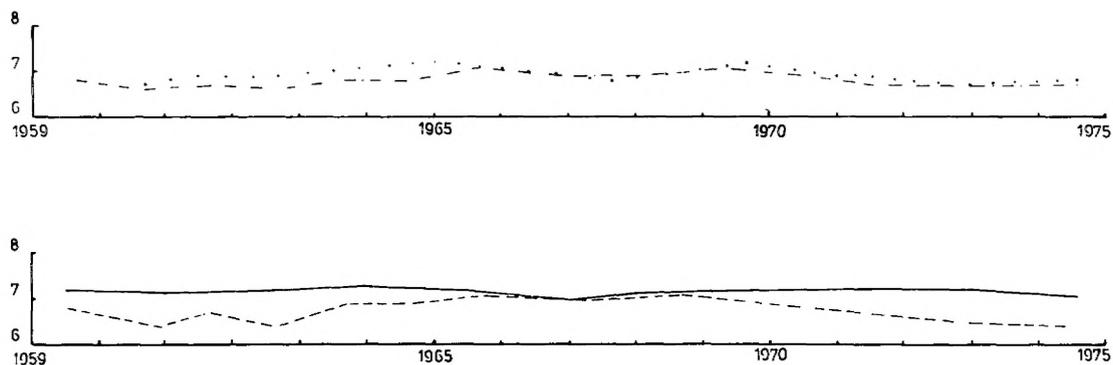


Abb. 63: pH-Werte der Wasserwerke Rheine/Ochtrup.

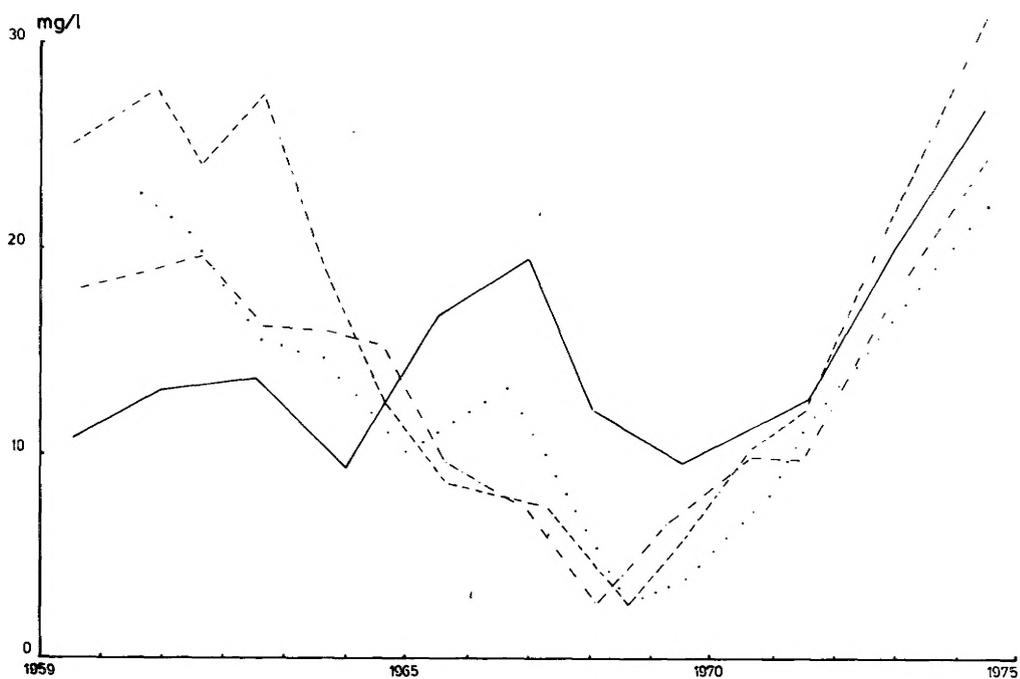


Abb. 64: Freie Kohlensäure der Wasserwerke Rheine/Ochtrup.

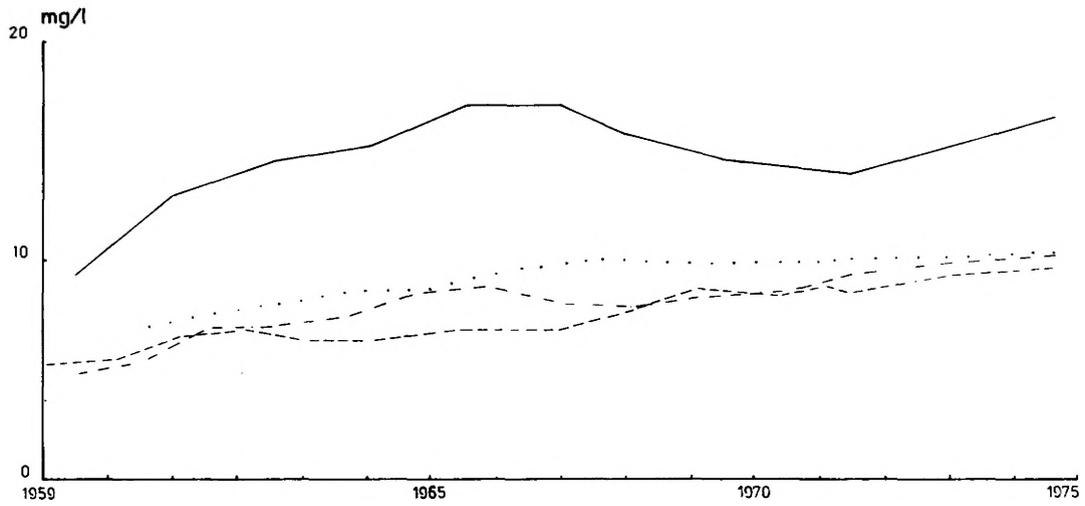


Abb. 65: Gesamthärten der Wasserwerke Rheine/Ochtrup.

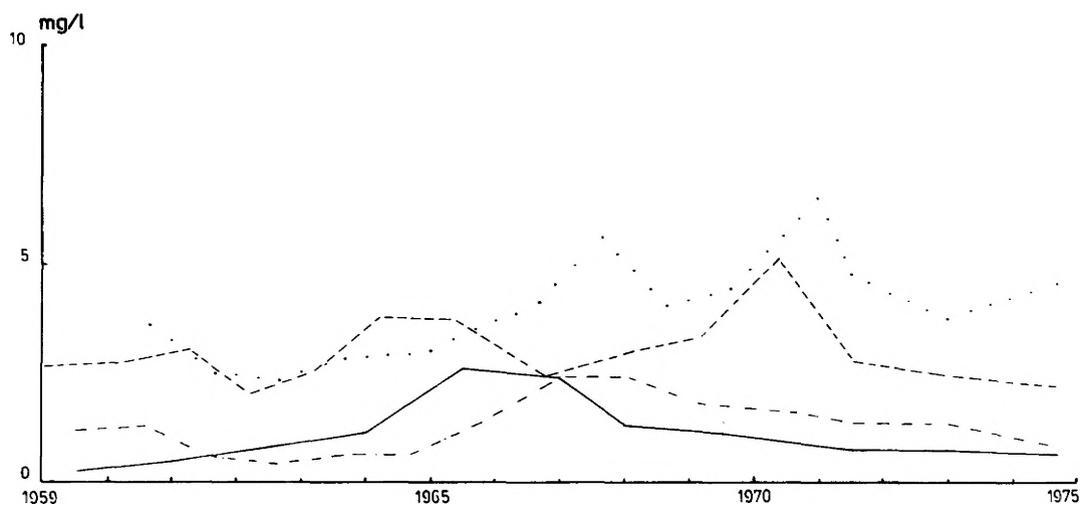


Abb. 66: Eisengehalte der Wasserwerke Rheine/Ochtrup.

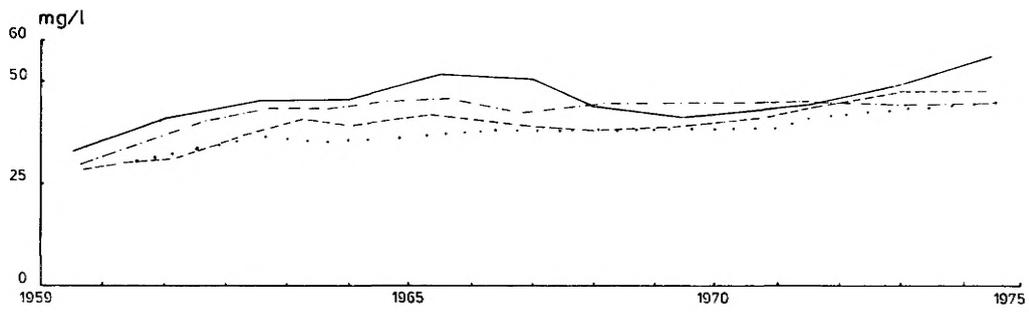


Abb. 67: Chloride der Wasserwerke Rheine/Ochtrup.

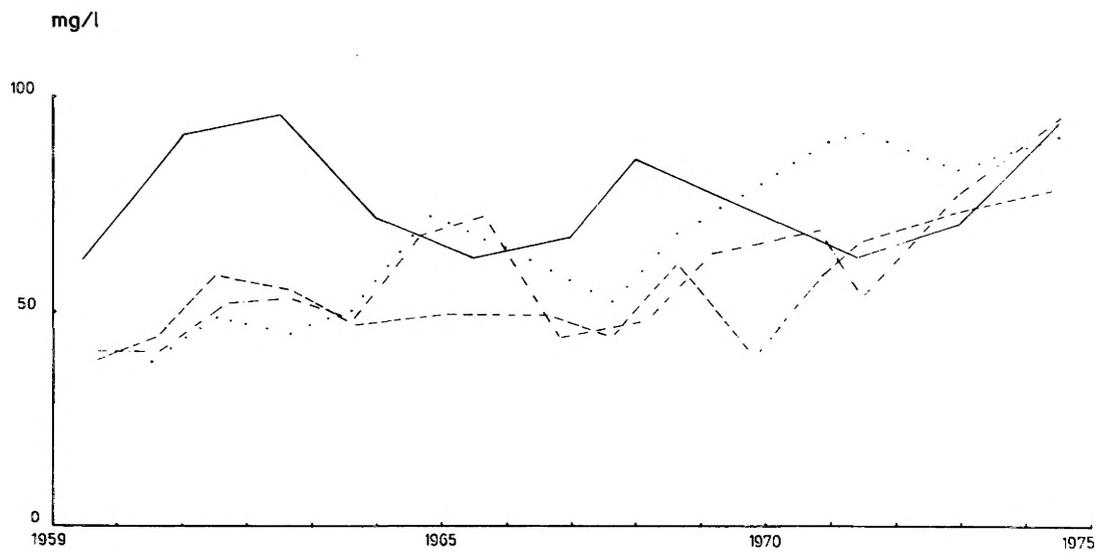


Abb. 68: Sulfate der Wasserwerke Rheine/Ochtrup.

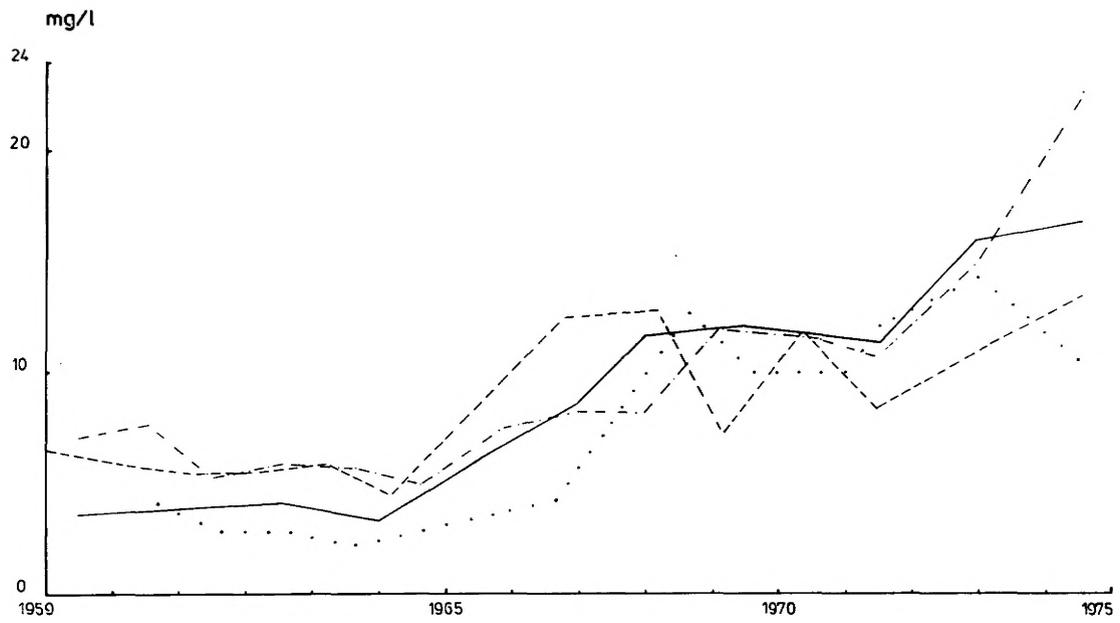


Abb. 69: Nitrate der Wasserwerke Rheine/Ochtrup.

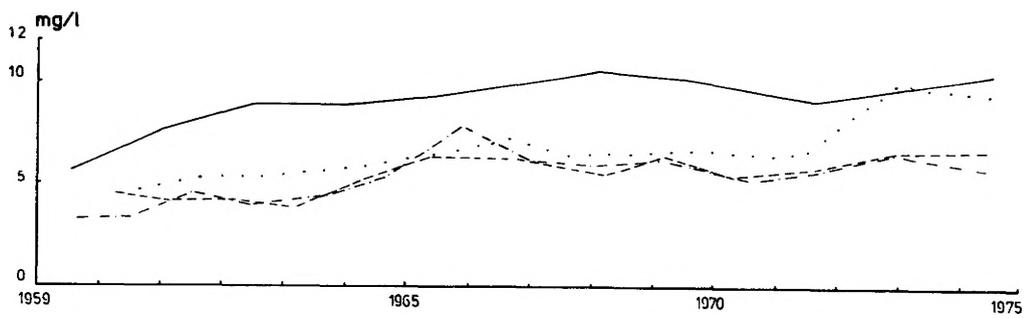


Abb. 70: Kaliumpermanganatverbrauch der Wasserwerke Rheine/Ochtrup.

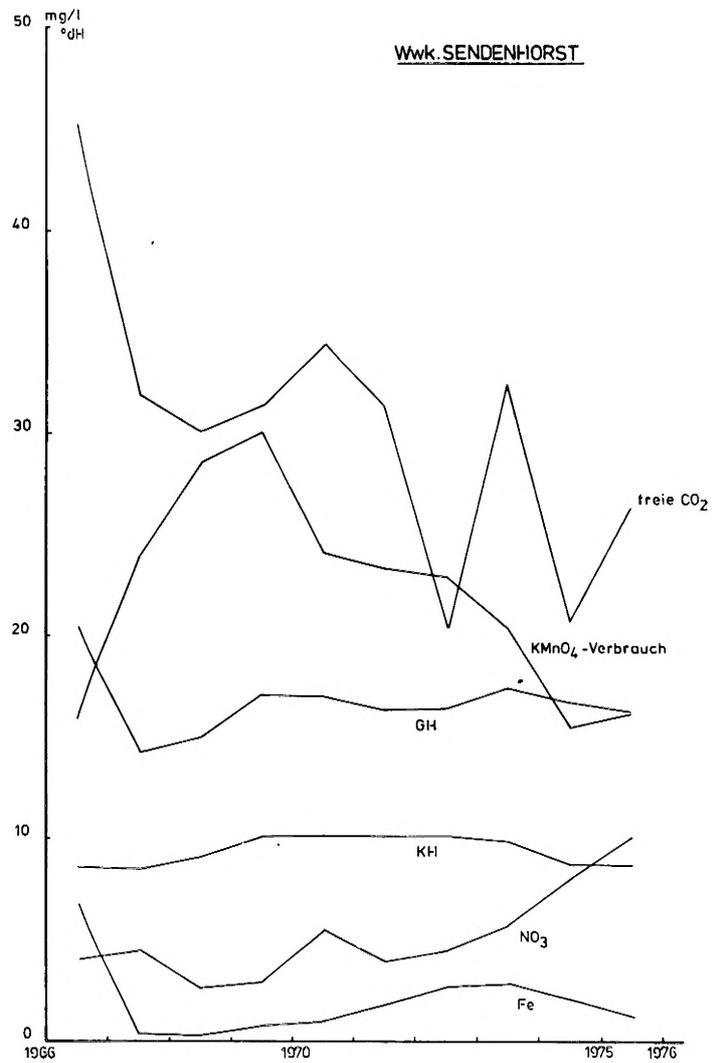


Abb. 71: Chemische Analysen des Wasserwerkes Sendenhorst.

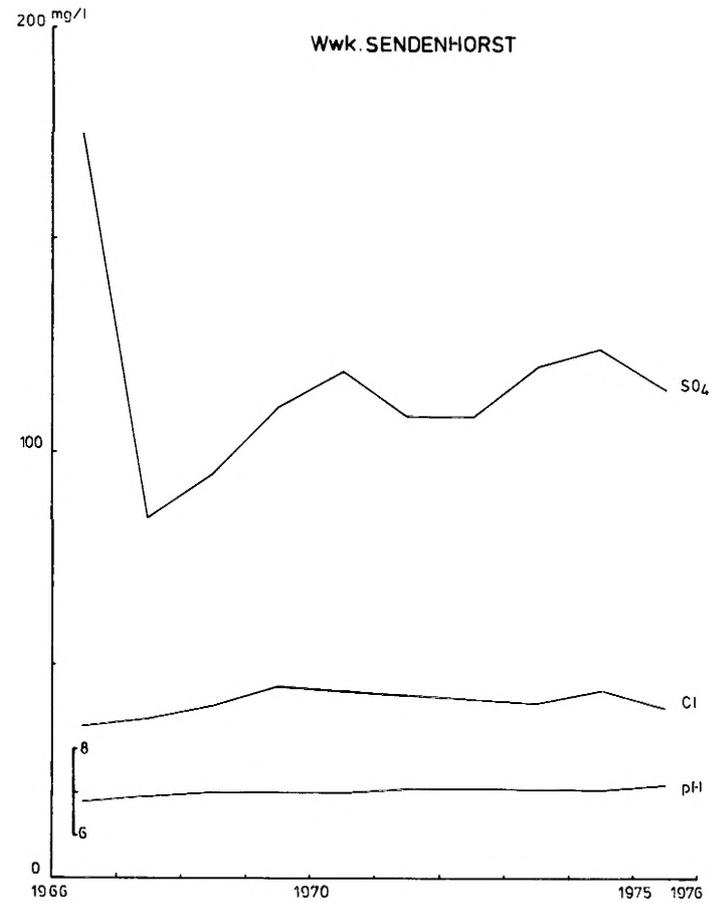


Abb. 72: Chemische Analysen des Wasserwerkes Sendenhorst.

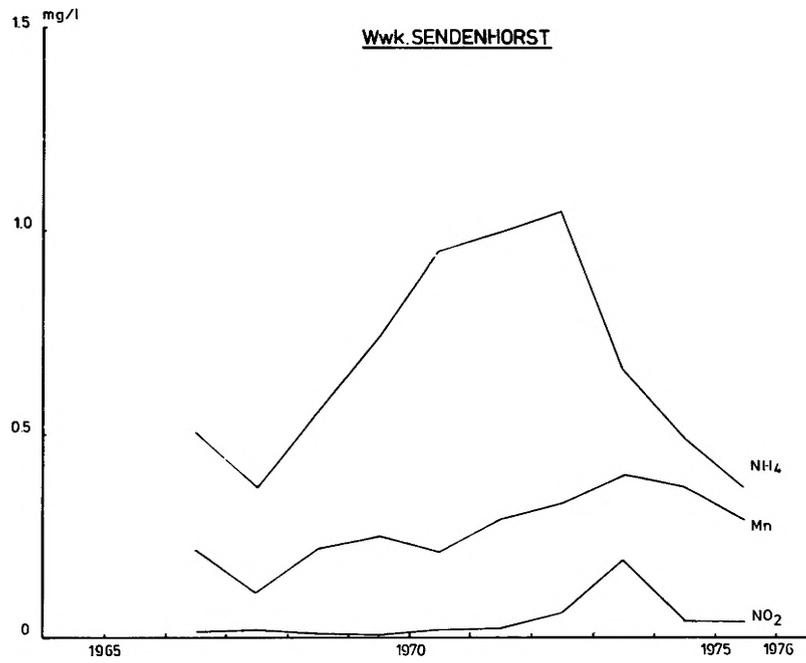


Abb. 73: Chemische Analysen des Wasserwerkes Sendenhorst.

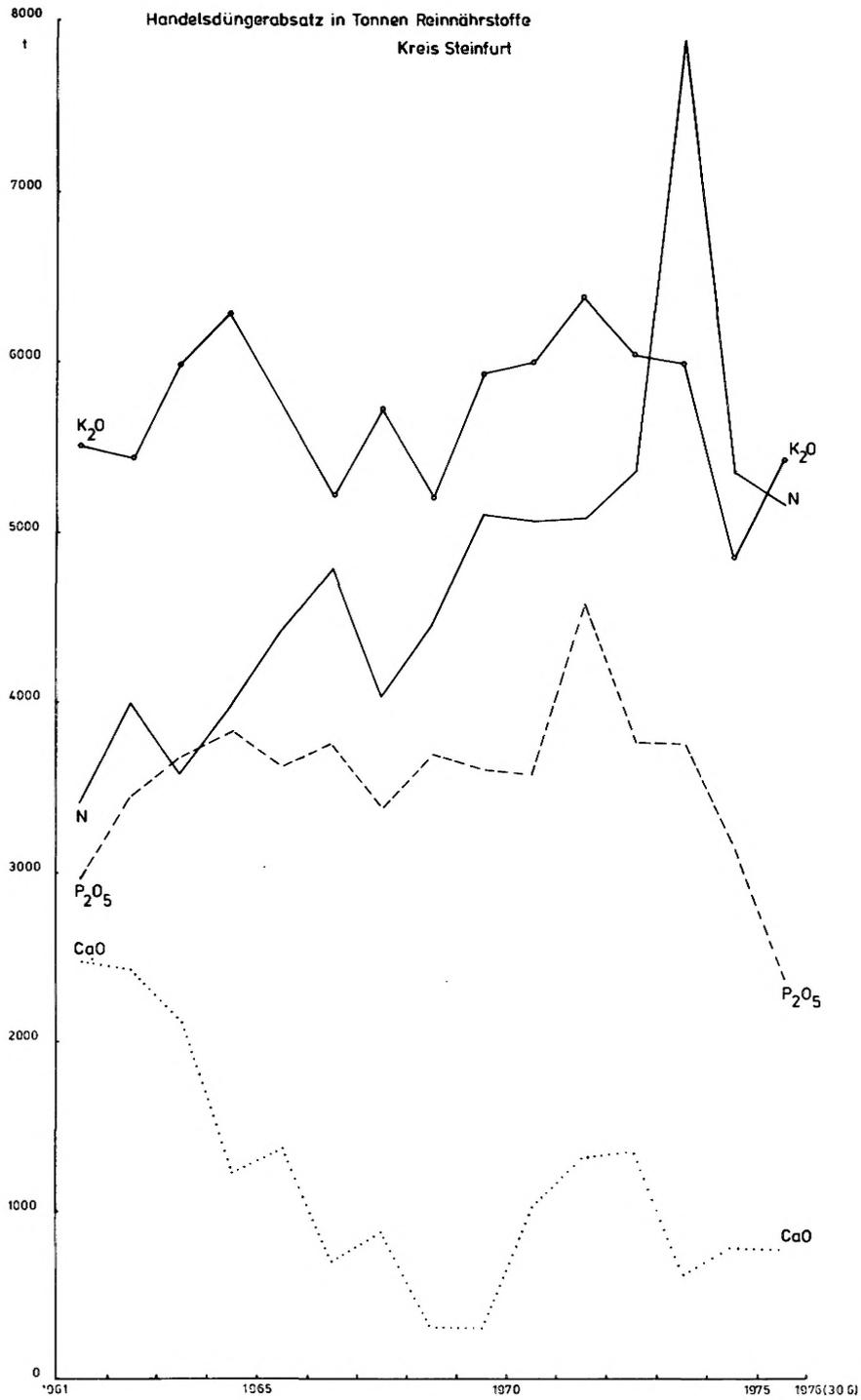


Abb. 74: Handelsdüngerabsatz im Kreis Steinfurt.

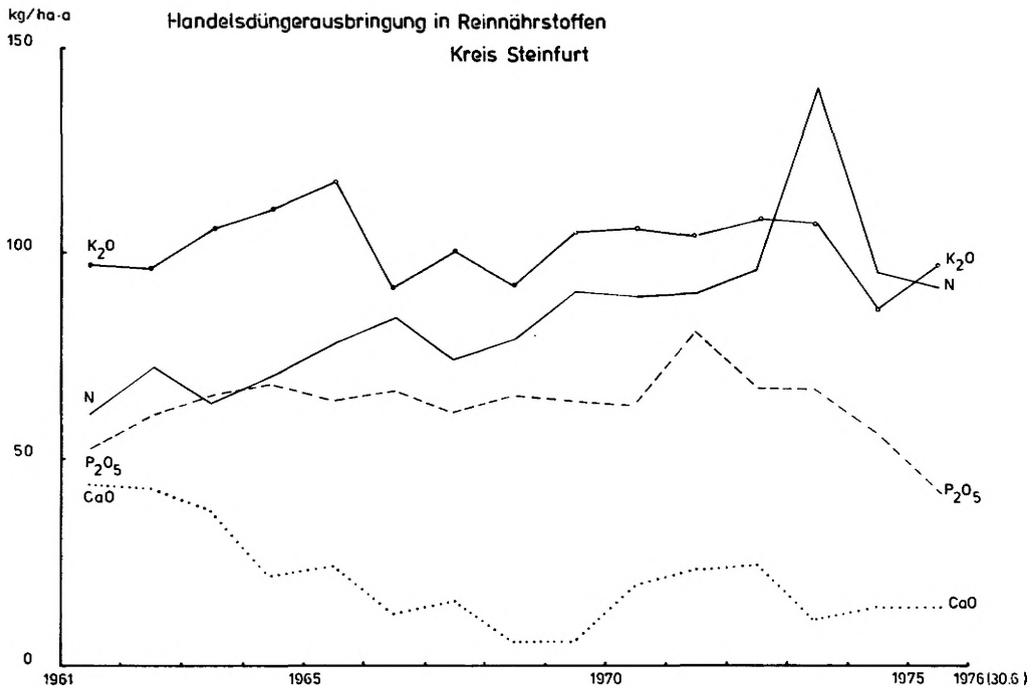


Abb. 75: Handelsdüngerausbringung im Kreis Steinfurt.

Zeichenerklärung zu den Abb. 76 - 88

Sauerstoffgehalt (O_2), Wassertemperatur (T) und Sauerstoffsättigung (S) von Baggerseen im Münsterländer Kiessandzug

Gewässer Nr. in Abb. 40a - d

Meßpunkte:

Sommer	P1	—————
	P2	o o o o o
	P3	x x x x x
Herbst	P1/P2/P3	- - - - -

Abb. 76: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 2.

Gewässer Nr. : 2
 Untersuchungsdatum : 25.8.1976
 Witterung : sonnig/windstill
 Lufttemperatur (°C) : 20
 Sichttiefe (m) : 1,20

9.11.1976
 windig/Regenschauer
 9
 0,80

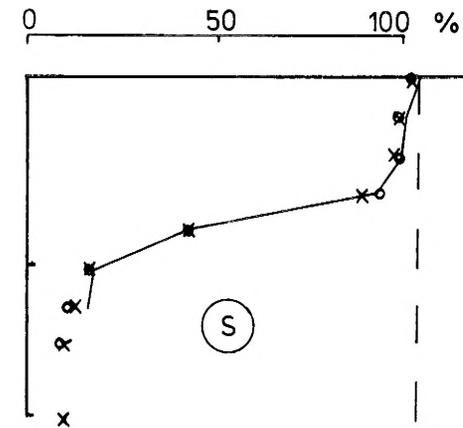
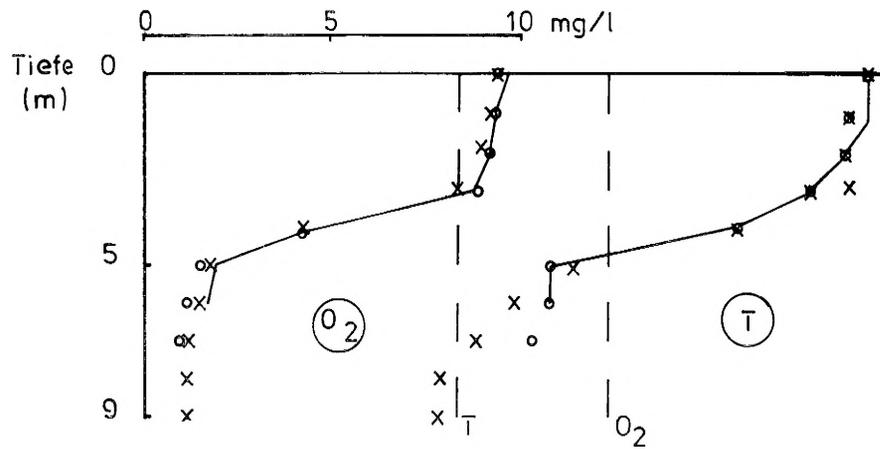


Abb. 77: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 3.

Gewässer Nr.	: 3	
Untersuchungsdatum	: 25.8.1976	9.11.1976
Witterung	: sonnig/windstill	windig/Regenschauer
Lufttemperatur (°C)	: 22	9
Sichttiefe (m)	: 3,95	1,80

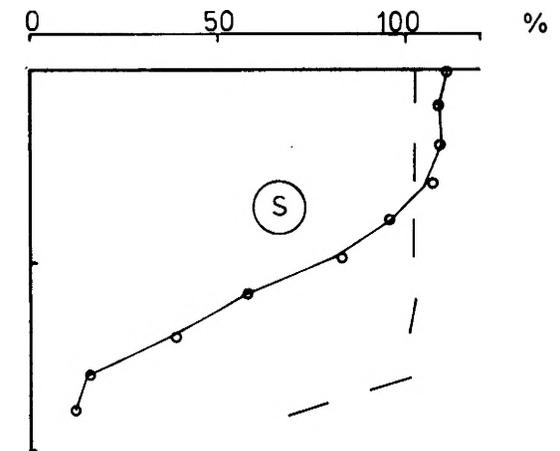
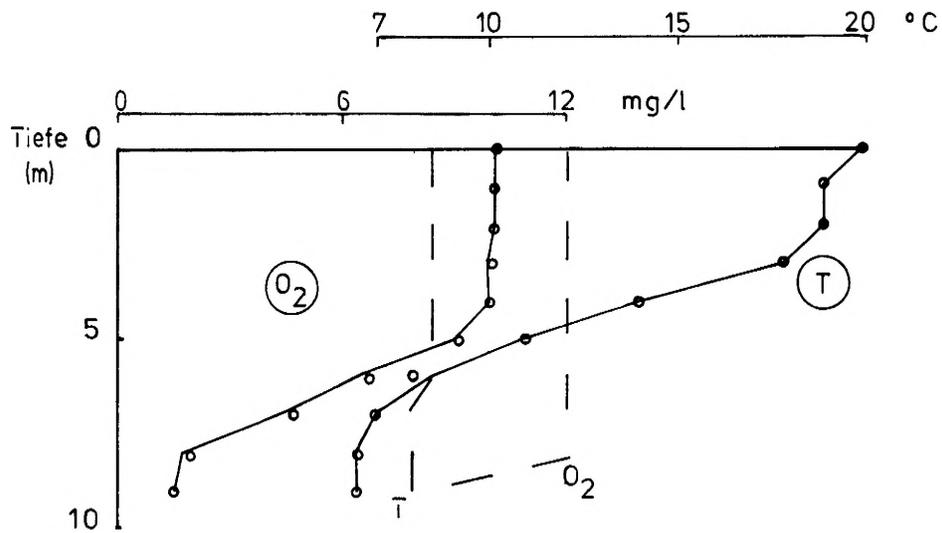


Abb. 78: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 7.

Gewässer Nr. : 7

Untersuchungsdatum : 18.8.1976

Witterung : sonnig

Lufttemperatur (°C) : 25

Sichttiefe (m) : 2,05

11.11.1976

leichter Wind/wechselhaft

9

0,80

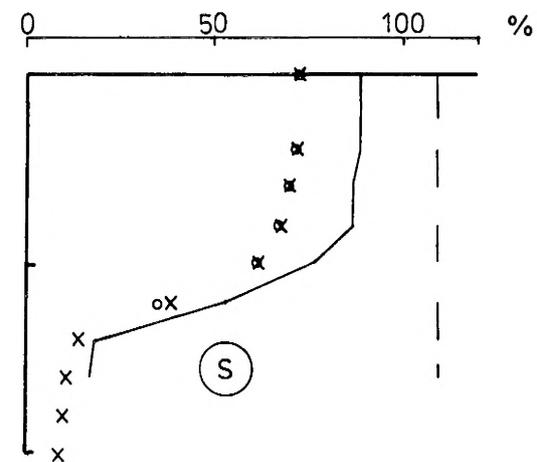
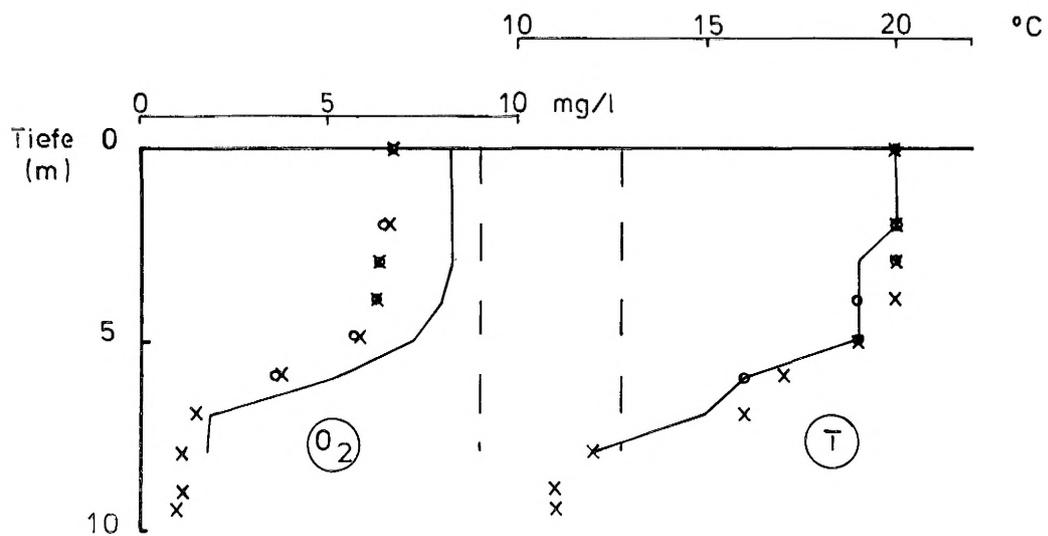


Abb. 79: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 11.

Gewässer Nr. : 11
 Untersuchungsdatum : 17.8.1976
 Witterung : sonnig
 Lufttemperatur (°C) : 22
 Sichttiefe (m) : 1,60

9.11.1976
 windig/wechselhaft
 9
 1,40

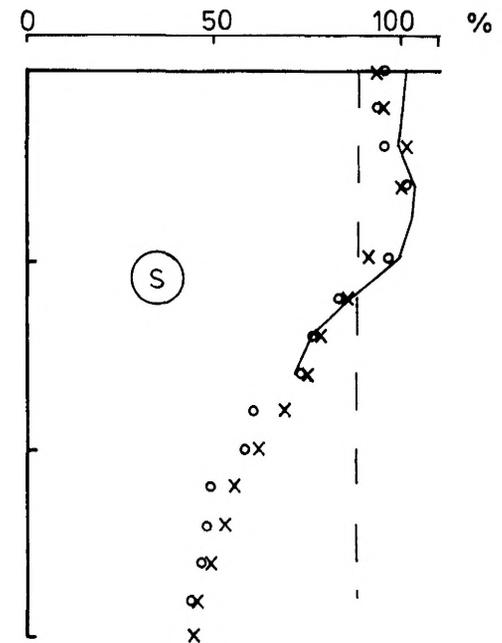
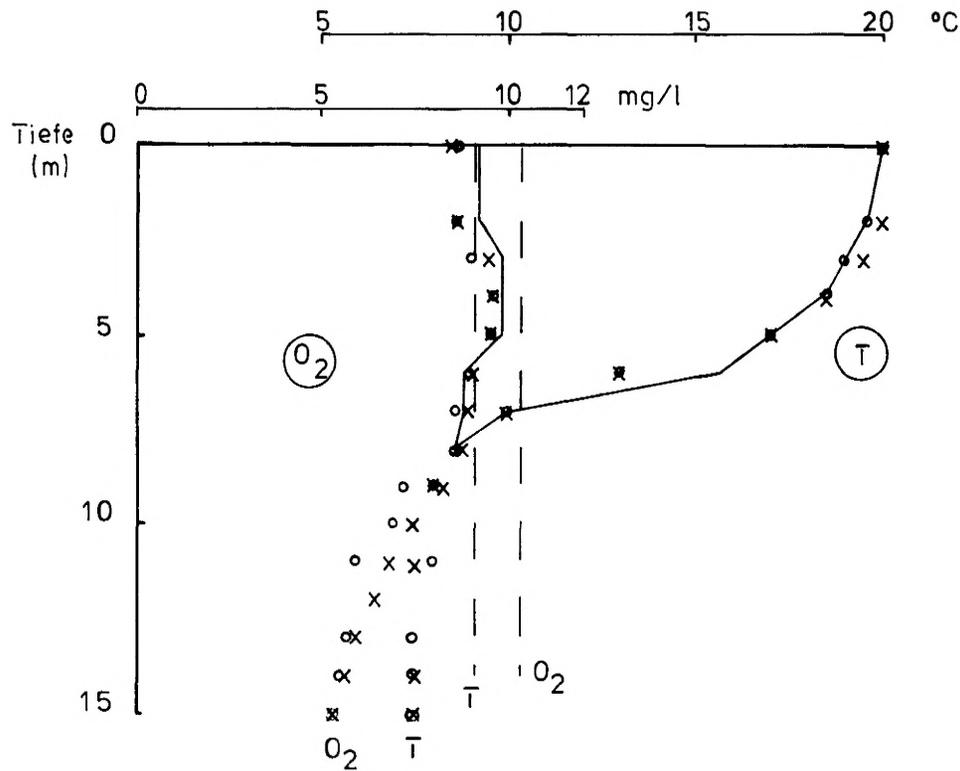


Abb. 80: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 12.

Gewässer Nr.	: 12	
Untersuchungsdatum	: 31.8.1976	9.11.1976
Witterung	: sonnig/leicht bewölkt	windig
Lufttemperatur (°C)	: 21	10
Sichttiefe (m)	: 4,50	2,70

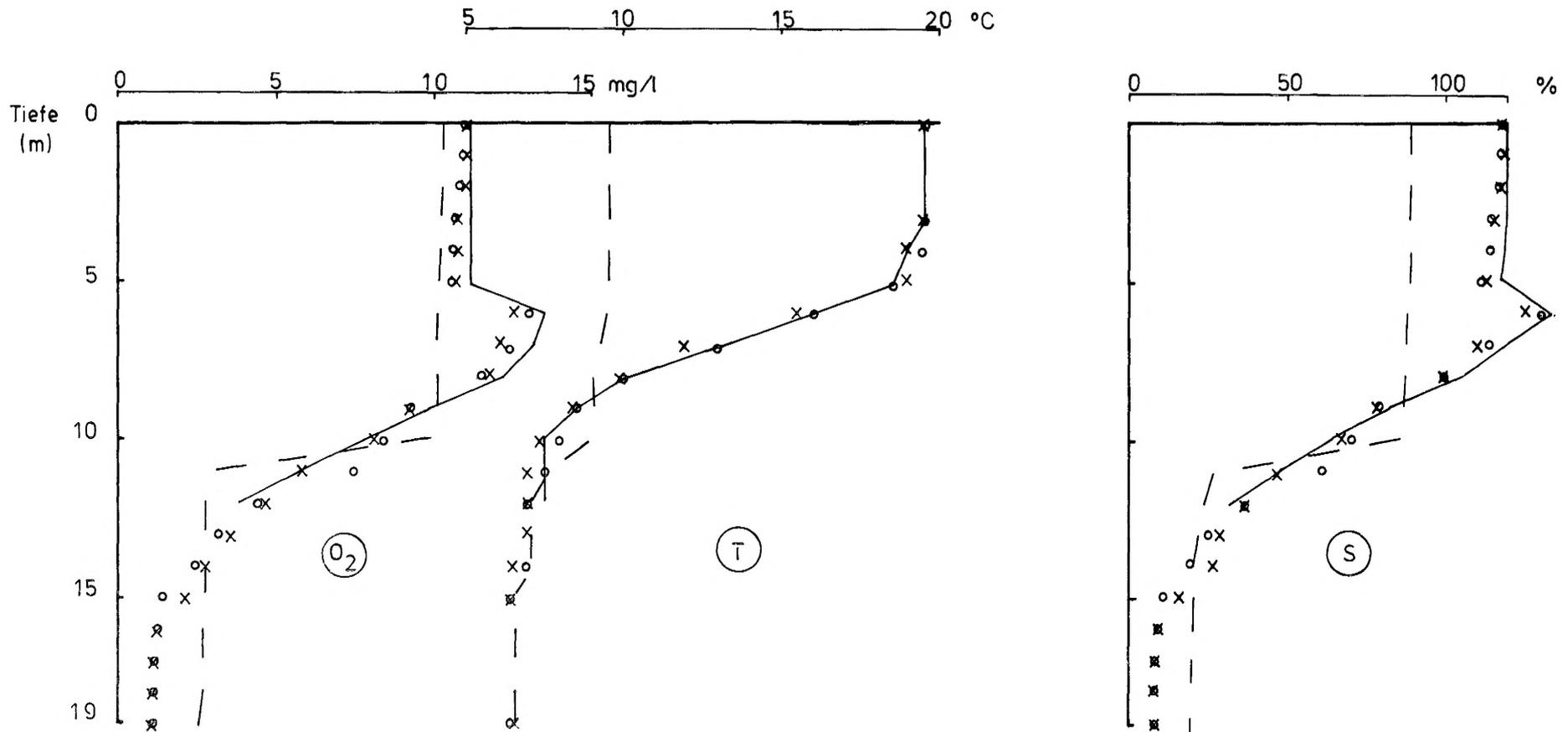


Abb. 81: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 16.

Gewässer Nr.	: 16/17	
Untersuchungsdatum	: 23.8.1976	10.11.1976
Witterung	: bewölkt	windig/bewölkt
Lufttemperatur (°C)	: 25	9,5
Sichttiefe (m)	: 0,10/1,35	0,30/0,40

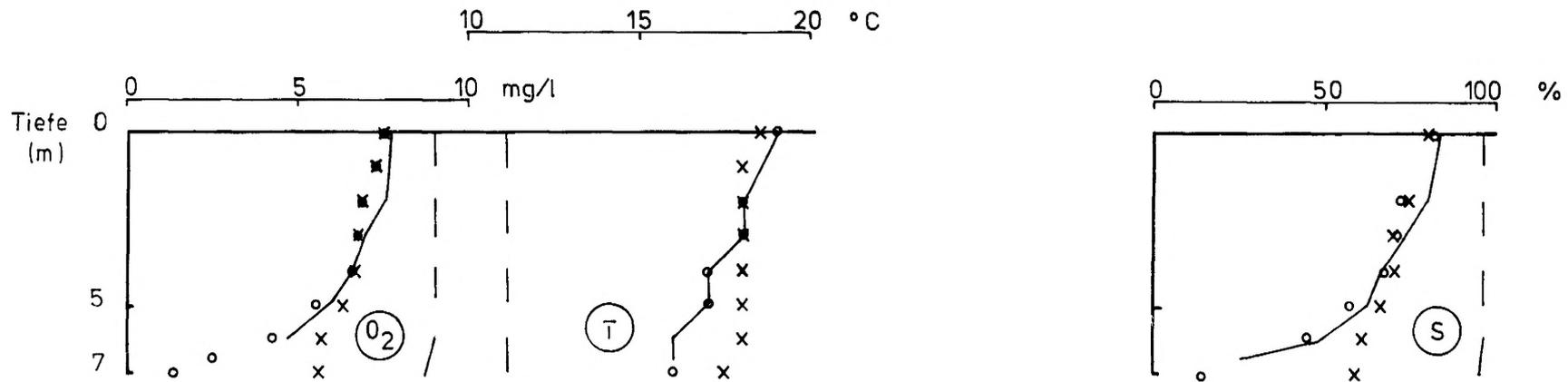


Abb. 82: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 17.

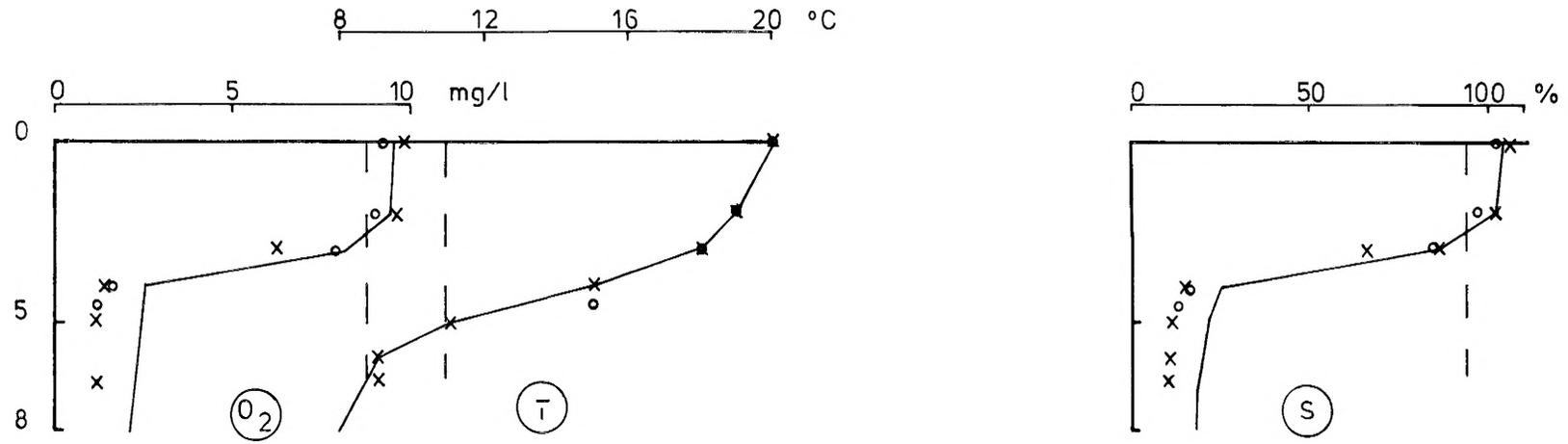


Abb. 83: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 19.

Gewässer Nr.	: 19	
Untersuchungsdatum	: 3.8.1976	10.11.1976
Witterung	: bewölkt/Regenschauer	bewölkt
Lufttemperatur (°C)	: 20	10
Sichttiefe (m)	: 0,95	0,80

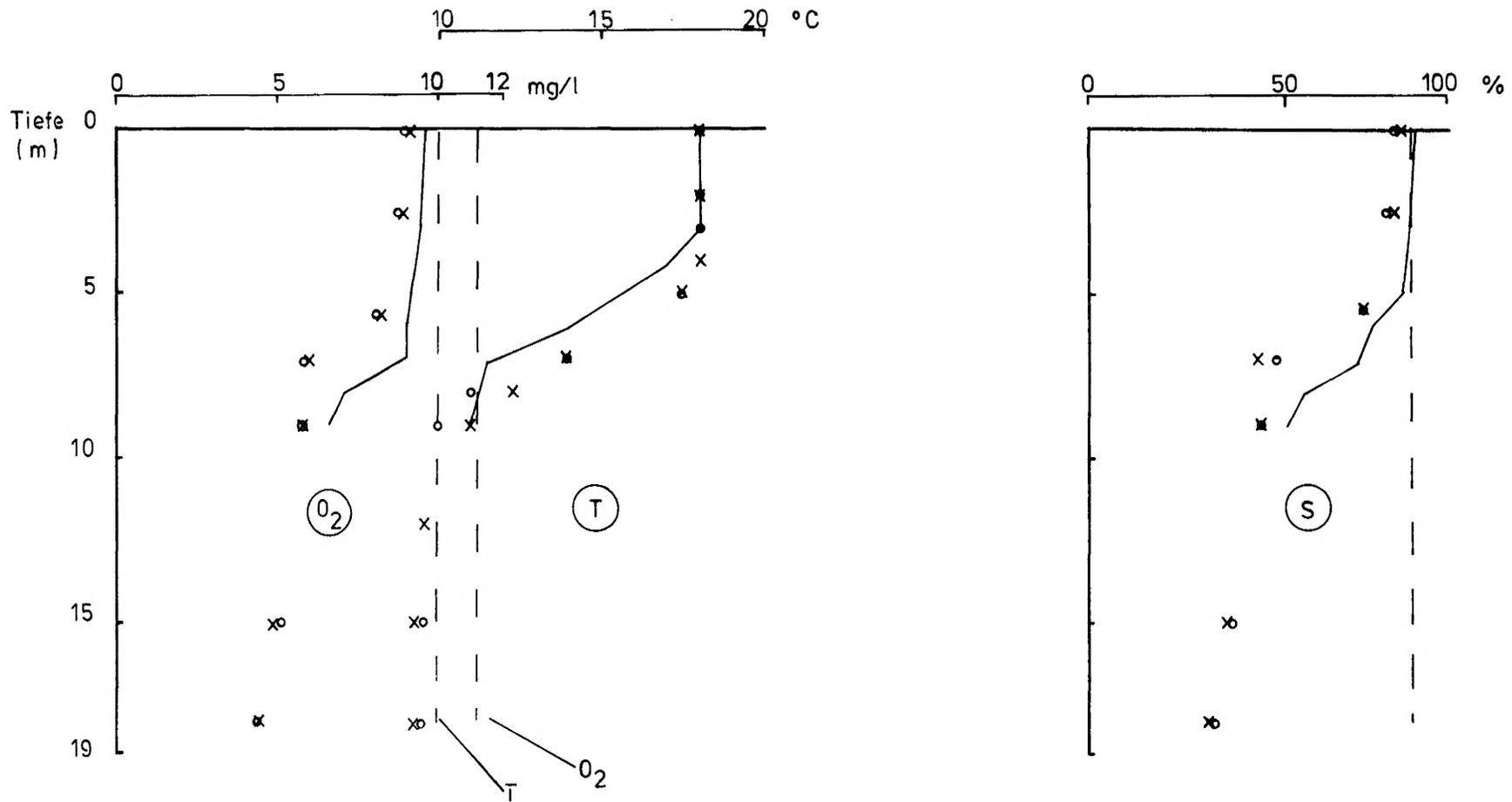


Abb. 84: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 20.

Gewässer Nr.	: 20	
Untersuchungsdatum	: 4.8.1976	10.11.1976
Witterung	: sonnig/leichter Wind	bewölkt
Lufttemperatur (°C)	: 22	10
Sichttiefe (m)	: 1,50	0,90

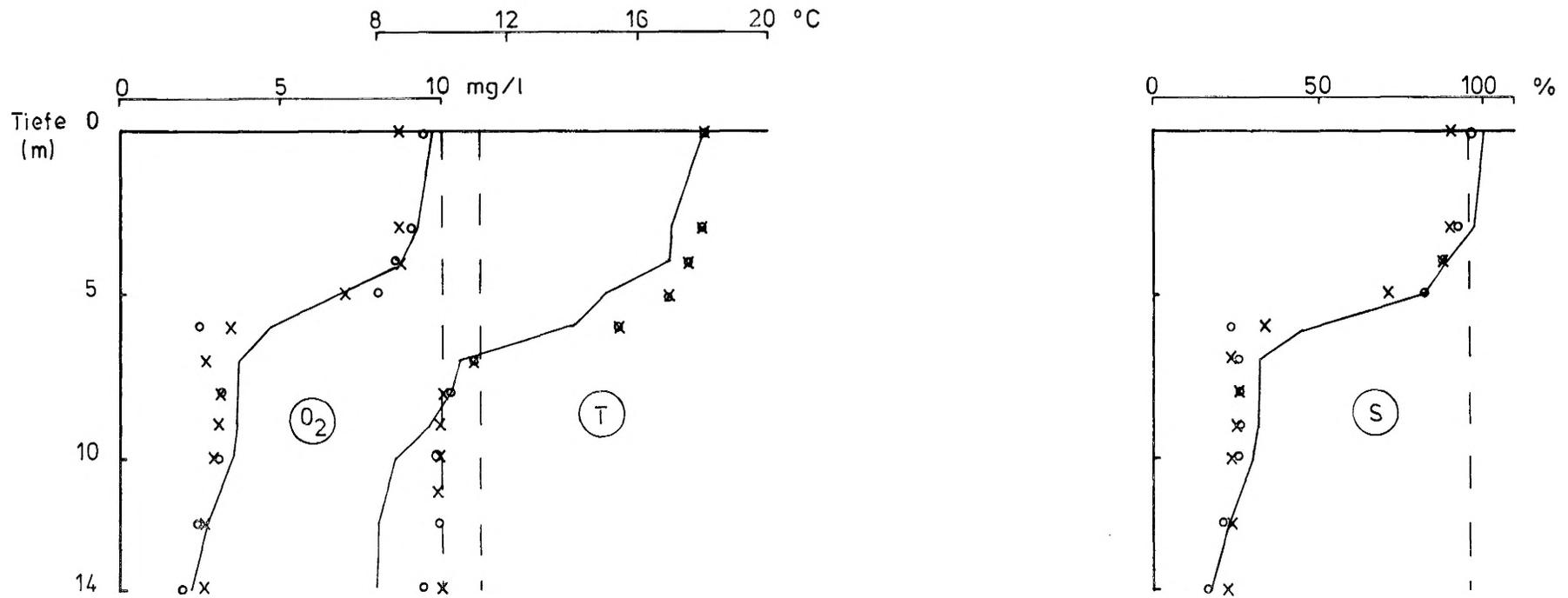


Abb. 85: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 22.1.

Gewässer Nr.	: 22.1/22.2	
Untersuchungsdatum	: 11.8.1976	8.11.1976
Witterung	: sonnig	windig
Lufttemperatur (°C)	: 21	11
Sichttiefe (m)	: 0,95/1,25	0,90/1,50

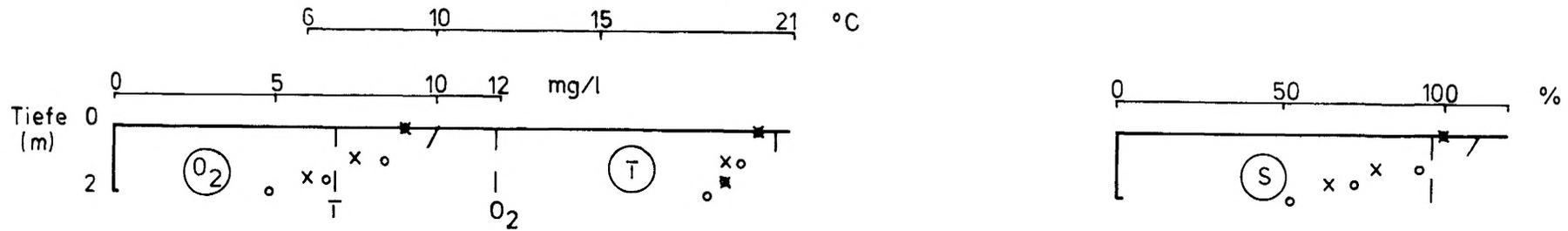


Abb. 86: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 22.2.

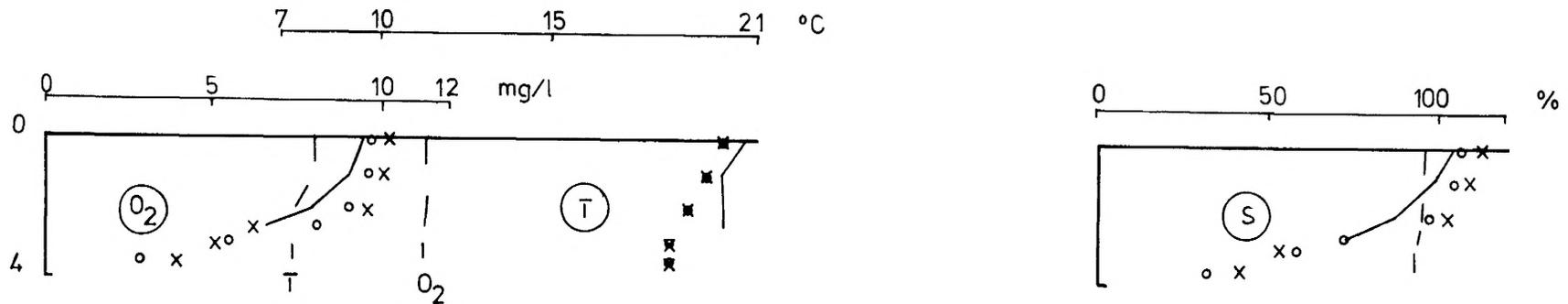


Abb. 87: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 28.1.

Gewässer Nr. : 28.1/28.2
 Untersuchungsdatum : 10.8.1976
 Witterung : sonnig
 Lufttemperatur (°C) : 23
 Sichttiefe (m) : 1,00/0,95

8.11.1976
 leichter Wind
 12
 1,20/1,80

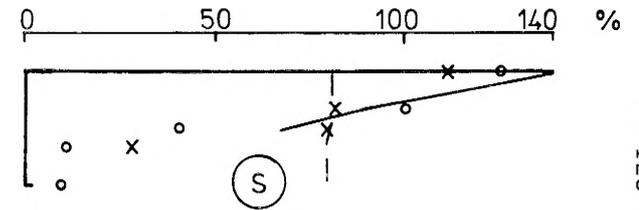
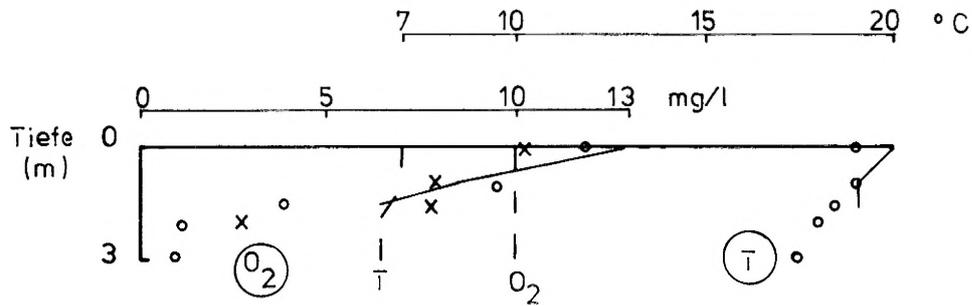
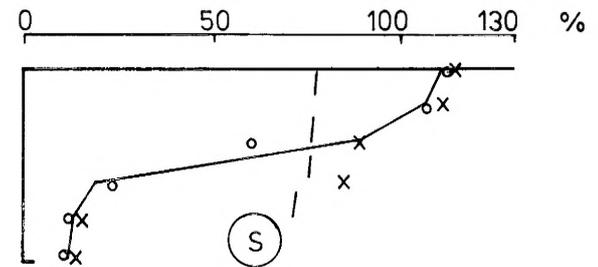
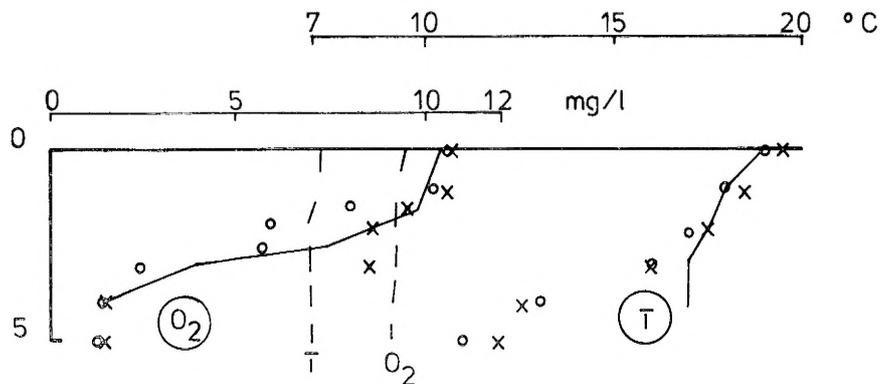


Abb. 88: Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und Sauerstoffsättigung von Gewässer 28.2.



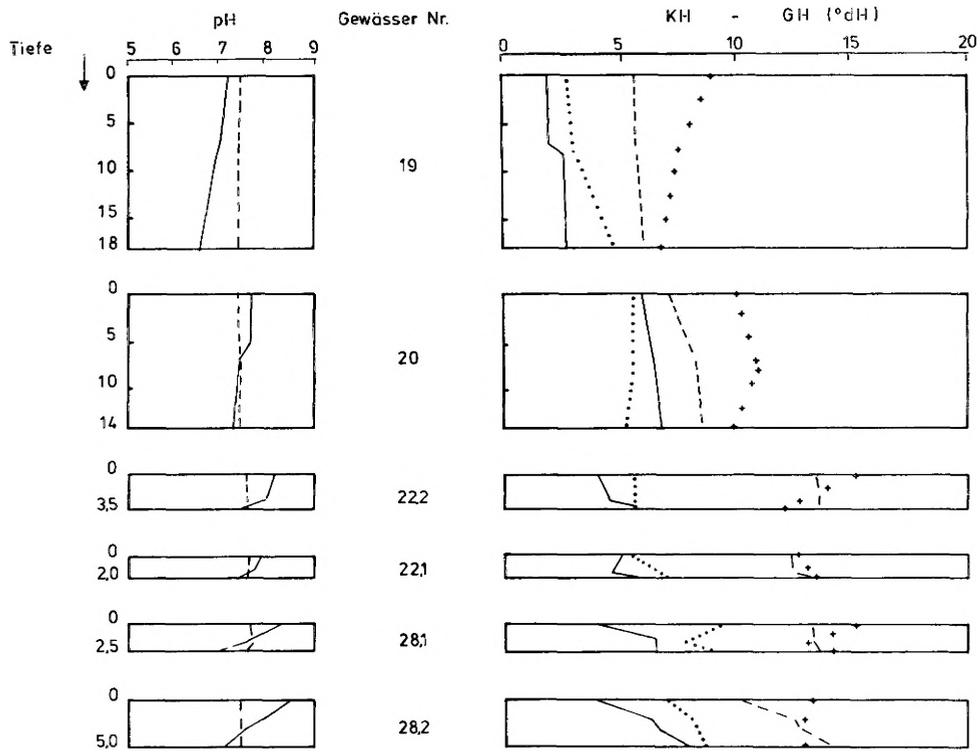


Abb. 90: Durchschnittliche pH-Werte, Karbonathärten (KH) und Gesamthärten (GH) von Baggerseen im Münsterländer Kiessandzug.

14. TABELLEN 2 - 25

Wasserwirtschaftliche Wertigkeit	Porenwasserleiter	Kluftwasserleiter	Nutzung	
			Porenwasserleiter	Kluftwasserleiter
Grundwasserleiter	Auensand, Dünensand, Flugdecksand, Terrassensand, Münsterländer Kiessandzug Nachschüttsande, Vorschüttsande	Kalksteine des Turons, Rhotomagense - Kalke (Cenoman) Mergel - Kalkmergelsteine des Turons Varians Pläner (Cenoman)	Wasserwerke	Teilweise Einzelwasser - versorgung
Grundwasserhalbleiter	Periglazialbildungen Interglazialbildungen, Moorbildungen	Tonmergelsteine des Santons Rotpläner (Turon) Cenoman - Mergel Tonmergelsteine des Coniacs		
Grundwassernichtleiter	Auenlehm, Wiesenmergel, Grundmoräne			

Tab. 2: Wasserwirtschaftliche Wertigkeit

Tab. 3: Bodentypen und ihre Klassifizierung

Bodentyp	Bodenart	Verbreitung	Kennzeichnung		
			Sorptionsfähigkeit für Nährstoffe	Wasserkapazität	Durchlässigkeit
Podsol	Sand- Kies	Glaziale Sande und Kiese des Kiessandzuges mit Flugsanddecke	sehr gering	sehr gering	sehr hoch
Podsol-Ranker	Mittel-bis Feinsand	Flugsande der Dünenfelder	gering	gering	gering bis hoch
Gley - Podsol	Mittel-bis Feinsand z.T. schluffig	Flugsande über Sande der Niederterrasse			
Podsol -Gley	Mittel-bis Feinsand z.T. kalkhaltig				
Gley	schluffig -toniger Sand z.T. kalkhaltig	Fluß-, Bachtäler, Niederungen im Bereich des Cenoman-Rückens	gering bis mittel	gering bis hoch	gering bis mittel
Niedermoortorf	Torf-Sand z.T. schluffig	Täler und Senken über Flug- und Talsanden	hoch	hoch	mittel
Hochmoortorf	Torf - Sand z.T. schluffig	Senken über Niederterrasseablagerungen			

Erläuterungen:

Klassifizierung	Sorptionsfähigkeit (mval / 100g Boden)	Durchlässigkeit kf (cm / Tg)
sehr gering	2	1 - 6
gering	2 - 6	6 - 16
mittel	5 - 12	16 - 40
hoch	10 - 20	40 - 100
sehr hoch	- 20	> 100

Station	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	WH	SH	J	Zeitraum
Altenberge	58	59	59	52	47	50	51	65	77	70	59	63	325	385	710	1891-1950
Burgsteinf.	60	66	63	54	51	52	50	63	77	77	61	63	346	391	737	
Emsdetten	53	59	57	49	49	47	50	60	77	78	62	62	314	389	703	
Münster	62	66	67	53	53	54	54	67	83	74	62	65	355	405	760	
Rheine	57	63	62	52	52	51	50	66	81	73	63	65	337	398	735	
Altenberge	63	62	66	59	42	48	51	61	85	77	61	60	340	395	753	1931-1975
Burgsteinf.	66	62	66	58	44	49	48	54	89	83	66	60	345	400	745	
Emsdetten	58	56	58	54	42	45	48	53	87	77	60	54	313	379	692	
Münster	62	58	68	58	44	52	51	62	90	79	60	58	342	400	742	
Rheine	62	62	65	58	46	46	46	59	90	79	65	61	339	400	739	
Ahlen	63	57	64	54	43	54	52	65	84	77	62	61	335	401	736	1967-1976
Hoetmar	60	56	64	54	40	51	50	63	86	74	60	57	325	390	715	
Neubeckum	64	58	65	58	42	55	54	62	89	77	62	62	342	402	748	
Ochtrup	63	62	66	58	44	50	50	63	88	82	67	63	342	400	756	
Greven	62	48	44	35	41	45	52	51	62	56	67	47	275	336	611	

Meßlücken

Tab. 4: Mittlere Monats-, Halbjahres- und Jahressummen des Niederschlages (mm)

Station	Höhe ü.NN	Jahresniederschlag (mm)							
		TJ 1920	TJ 1921	DTJ 1920/21	NJ 1940	DTJ 1942/43	TJ 1959	DNJ 1965/66	TJ 1971
Altenberge	95	637	526	582	841	657	471	1026	596
Burgsteinf.	68	605	536	571	893	643	475	1100	577
Emsdetten	44	698	572	635	800	561	455	971	536
Münster	63	661	525	539	819	655	402	957	597
Rheine	40	571	520	546	860	645	413	974	452
Ahlen	90	-	-	-	-	-	395	956	552
Hoetmar	64	-	-	-	748	640	387	-	532
Neubeckum	105	-	-	-	810	642	381	1038	589
Ochtrup	58	563	451	507	843	633	-	-	504

Abkürzungen: DTJ = Doppeltrockenjahr
 TJ = Trockenjahr
 NJ = Naßjahr
 DNJ = Doppelnaßjahr

Tab. 5: Niederschlagshöhen (mm) in speziellen Abflußjahren

N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	WH	SH	J
5,7	2,6	1,2	1,6	4,8	8,6	12,8	15,8	17,4	17,1	14,2	9,7	4,1	14,5	9,3

Tab. 6: Langjährige Monats-, Halbjahres- und Jahresmittel der Lufttemperatur in °C.
 Station: Münster, Zeitraum 1931-1960

N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	J
0,2	2,8	7,8	7,0	2,8	0,2	-	-	-	-	-	-	20,8

Tab. 7: Mittlere Zahl der Tage mit Schneedecke
Station Münster, Zeitraum 1931-1960

N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	J
85	87	86	83	78	74	72	72	77	78	80	84	80

Tab. 8: Mittlere relative Luftfeuchte (%)
Station Münster, Zeitraum 1951-1970

N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	J
2,4	3,1	3,4	2,7	2,8	2,8	2,4	2,2	2,4	2,3	2,3	2,3	2,6

Tab. 9: Mittlerer Monats- und Jahreswert der Windgeschwindigkeit (m/sec)
Station Münster, Zeitraum 1953-1960

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
1	8,9	8,9	10,3	7,1	11,7	21,1	17,4	8,9	5,7
2	2,0	2,4	2,6	2,1	2,3	3,3	3,3	2,6	-

Tab. 10: 1. Mittlere Häufigkeit (%) der Windrichtung
2. Mittlere Windgeschwindigkeit (m/sec)
Station Münster, Zeitraum 1959-1960

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
1	6,3	9,5	9,4	7,9	10,7	29,3	16,8	9,3	0,8
2	2,3	2,1	2,8	2,1	2,5	3,4	3,1	2,8	-

Tab. 11: 1. Mittlere Häufigkeit (%) der Windrichtung
2. Mittlere Windgeschwindigkeit (m/sec)
Station Ochtrup, Zeitraum 1964-1972

	1871	1939	1946	1960	1975
Münster	24821	145657	93268	187208	264546
Hiltrup	-	4678	6520	10137	-
Rheine	6710	40420	40847	51416	71539
Steinfurt	6938	19668	23974	27946	31367
Ochtrup	5238	9515	11624	12993	16423
Neuenkirchen	2667	5855	7532	8603	11014
Wettringen	2196	3998	5386	5460	6104
Sendenhorst	1868	2681	3865	4462	9424
Nordwalde	2586	4281	6052	6553	7758
Altenberge	2786	3413	5161	4850	6619

Tab. 12: Bevölkerungs-Entwicklung im Untersuchungsraum

N	D	J	F	M	A	WH
7,8	5,1	6,8	11,6	29,6	55,5	116,4
M	J	J	A	S	O	SH
89,0	104,8	103,7	88,3	45,7	18,1	449,6
						J
						566,0

Tab. 13: Langjähriges mittleres Monats-, Halbjahres- und Jahresmittel der potentiellen Verdunstung (mm) n. Penman (Zeitraum 1966/77)

	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	WH	SH	J
1.	74	70	57	50	52	52	65	72	73	66	67	58	335	401	756
2.	26	68	60	46	44	50	34	17	20	15	16	17	294	119	413
3.	23	56	54	42	43	48	36	22	24	17	15	17	260	131	397
4.	13	45	41	32	35	37	27	15	15	13	13	15	203	98	301

Tab. 14: Langjährige Monats-, Halbjahres- und Jahresmittel der Lysimeteranlage St. Arnold

1. Niederschlagshöhe (mm)
 2. Sickerwasserhöhe (mm) - Lysimeter 1
 3. Sickerwasserhöhe (mm) - Lysimeter 2
 4. Sickerwasserhöhe (mm) - Lysimeter 3
- St.-Arnold (Zeitraum: 1966-1976)

Jahr	N	S ₁	S ₂	S ₃
1966	1098	657	661	670
1967	922	487	461	467
1968	965	597	542	487
1969	625	363	359	310
1970	875	379	395	272
1971	581	361	351	220
1972	656	237	240	75
1973	620	332	303	167
1974	730	329	340	199
1975	719	521	461	306
1976	511	265	246	116
/n	755	412	396	299

S₁ = Sickerwasserhöhe - Grasland
 S₂ = Sickerwasserhöhe - Eichen-/Buchenbestand
 S₃ = Sickerwasserhöhe - Kiefernbestand
 N = Niederschlagshöhe

Tab. 15: Jährliche Niederschlags- und Sickerwasserhöhen des Lysimeters St.-Arnold

1) Teilgebiet	I	II	III	IV	V	VI
2) Gesamtflächenanteil engeres Regenerationsgebiet (km ²)	9,01	11,32	8,62	6,81	11,34	3,04
Anteilige Flächennutzung (%)						
a) Ackerland/Weide	55	75	85	5	25	45
b) Laubwald/Mischwald	5	17	10	-	20	4
c) Nadelwald	25	5	3	-	15	1
4) d) Sonstiges	15	3	2	95	40	50
Mittlerer Gebietsniederschlag (mm)	738	716	691	742	736	729
3) Weiteres Regenerationsgebiet (km ²)	19,79	33,74	17,72	11,64	15,12	3,04

1) s. Abb. 31; 2) engeres Regenerationsgebiet - Ausstrich d. Kiessandzuges oder bei Terrassenbedeckung Projektion seines Verlaufes; 4) Siedlungsflächen etc.;
 3) weiteres Regenerationsgebiet (überschläglich ermittelt) entspricht etwa der Projektion der Kiessandrinne auf die Geländeoberfläche (s.a. Quartärbasiskarte)

Tab. 16: Basisdaten zur Ermittlung der Grundwasserneubildung

Teilgebiete	I	II	III	IV	V	VI
Gesamtfläche (km ²)	9,01	11,32	8,62	6,81	11,34	3,04
Mittlerer Gebietsniederschlag (mm)	738	716	691	742	736	729
Grundwasserneubildung, unterteilt nach Flächennutzung (mm)						
a) Ackerland/Wiese	402	388	373	404	400	396
b) Laubwald/Mischwald	386	372	357	384	384	380
c) Nadelwald	285	267	246	288	283	277
d) Sonstiges (geschätzt)	100	100	100	0	0	0

Tab. 17: Grundwasserneubildung der einzelnen Teilgebiete (engeres Regenerationsgebiet)

1. Engeres Regenerationsgebiet

	F I	GWD	F II	GWD	F III	GWD	F IV	GWD	F V	GWD	F VI	GWD
Ackerland/Weide	4,95	1,987	8,49	3,296	7,33	2,73	0,341	0,138	2,835	1,134	1,368	0,542
Laubwald/Mischwald	0,45	0,174	1,92	0,714	0,86	0,307	-	-	2,27	0,872	0,12	0,046
Nadelwald	2,25	0,641	0,56	0,149	0,25	0,062	-	-	1,70	0,481	0,03	0,008
Sonstiges	1,35	0,135	0,34	0,034	0,17	0,017	6,47	-	4,54	-	1,52	-
	9,01	2,937	11,32	4,193	8,62	3,116	6,81	0,138	11,34	2,487	3,04	0,596

Grundwasserdargebot des engeren Regenerationsgebietes: ca. $13,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

2. Weiteres Regenerationsgebiet

(Berechnung erfolgte überschläglich durch prozentualen, flächenbezogenen Zuschlag auf das Dargebot des engeren Regenerationsgebietes)

F I	GWD	F II	GWD	F III	GWD	F IV	GWD	F V	GWD	F VI	GWD
19,79	6,46	33,34	12,58	17,72	6,39	11,64	0,23	15,12	3,36	3,04	0,60

Grundwasserdargebot des weiteren Regenerationsgebietes: ca. $29,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

GWD = Grundwasserdargebot in $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

F = Fläche Teilgebiet in km^2

Tab. 18: Ermittlung des Grundwasserdargebotes

$F_N = 2,7 \text{ km}^2$ Q (l/s)	q (l/s km ²)	Meßzeitpunkt
22	8,15	12.4.1976
15	5,56	20.4.1976
12	4,44	26.4.1976
10	3,70	24.5.1976
7	2,59	16.6.1976

Tab. 19: Trockenwetterabflußmessungen an Temmings-Mühlenbach

	1920	1940	1950	1960	1965	1970	1975
Stadtwerke Münster (Infiltration)	4.900.957	7.314.160	6.901.630	5.827.320 4.178.950	7.924.812 4.450.030	9.575.554 5.691.530	8.330.420 5.681.100
Germania-Brauerei	-	-	-	1.239.965	1.049.020	657.500	581.427
Wasserwerk-Borgh.- Burgsteinf. GmbH	443.000	650.000	858.000	1.315.000	1.612.140	1.998.340	2.499.970
Stadtwerke Rheine (Infiltration)	840.000 -	2.047.212 -	2.222.441	2.789.000 900.680	3.405.170 1.538.020	3.736.570 1.339.715	3.727.985 1.048.890
Stadtwerke Ochtrup (Infiltration)	-	-	1.140.480	415.033	575.900	698.720 225.855	835.210 210.415
Gelsenwasser AG Wk. Sendenhorst	-	-	154.540	170.644	198.585	229.510	175.983

- keine Angabe, geschätzt

Tab. 20: Förderleistungen und Infiltration der Wasserwerke und Pumpstationen im Münsterländer Kiessandzug (m³/a)

Wasserwerke (Eigentümer)	Festgesetzt	Schutzgebiet Vorläufig angeordnet	Im Verfahren seit
Haddorf Neuenkirchen St.-Arnold (Stadtwerke Rheine)	24.10.1973 30.12.1976	16.9.1969	25.7.1975
Ochtrup (Stadt. Ochtrup)			
Ahlintel I, II, Ahlintel III (Wasserwerk Borg.- Burgsteinf. GmbH)	31.03.1976 12.11.1976		
Preußenstadion Geist Hiltrup Hohe Ward (HW) HW Erweiterung Kinderhaus I Kinderhaus Nord (Stadtwerke Mün- ster)	18.10.1965 18.10.1965	 30.10.1975 18.10.1975	
Sendenhorst (Gelsenwasser AG)			

Tab. 21: Stand der Wasserschutzgebietsverfahren im Münsterländer Kiessandzug

Jahr	1940	1950	1961	1970	1975
Münster	141.000	112.800	180.000	205.705	210.000
Rheine	35.926	40.982	47.421	57.600	65.000
Steinfurt	15.283	22.049	25.410	29.008	29.930
Ochtrup	-	8.500	-	12.869	13.590
Hiltrup	-	5.330	7.950	13.000	-
Sendenhorst	-	3.405	4.675	-	5.527
Nordwalde	-	-	4.150	4.980	6.800
Altenberge	-	-	2.720	3.601	4.427
Neuenkirchen	-	-	7.820	9.036	10.119
Wettringen	-	-	-	3.600	4.000

- keine Angabe; geschätzt

Tab. 22: Bevölkerung - zentral versorgt (m³/a)

Jahr	1940	1950	1961	1970	1975
Rheine	1.079.633	777.447	369.840	872.344	918.625
Steinfurt	216.000	185.000	280.000	260.237	306.500
Ochtrup	460.712	660.448	153.237	177.474	167.033
Hiltrup	-	45.476	154.899	270.000	-
Sendenhorst	-	-	16.000	-	21.098
Nordwalde	-	-	79.028	78.444	31.450
Altenberge	-	-	8.183	55.662	93.396
Neuenkirchen	-	-	360.824	204.468	213.262

- keine Angabe; geschätzt

(nach Unterlagen der einzelnen Stadtwerke)

Tab. 23: Entwicklung des Industrie-Wasserverbrauches (m³/a)

Jahr	1940	1950	1961	1970	1975
Münster	5.578.399	4.643.026	9.631.600	13.054.241	14.453.604
Rheine	596.983	918.235	1.568.711	2.120.214	2.409.385
Steinfurt	283.170	493.350	743.500	1.131.901	1.304.800
Ochtrup	162.937	274.987	289.313	494.765	632.539
Hiltrup	-	139.723	240.654	537.437	-
Sendenhorst	-	16.625	88.700	-	221.443
Nordwalde	-	-	103.360	211.074	310.311
Altenberge	-	-	69.545	122.457	195.130
Neuenkirchen	-	-	168.958	352.719	439.851
Wettringen	-	-	-	136.708	172.423

- keine Angabe

(nach Unterlagen der einzelnen Stadtwerke)

Tab. 24: Entwicklung des Wasserverbrauches der Haushalte und Kleingewerbe (m³/a)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Teil- gebiet	Wasserrechte (Bedarf)	Grund- wasserdar- gebot (eng. Re- generati- onsgebiet)	Grund- wasser- dargebot (weiteres Regenerati- onsgebiet)	Infiltrati- onswasser				
	m ³ /a	Mio m ³ /a	Mio m ³ /a	m ³ /a	m ³ /a (3-2)	m ³ /a (6+5)	m ³ /a (4-2)	m ³ /a (8+5)
I	5.781.215	2,94	6,46	2.540.000	-2.841.215	-301.215	678.785	3.218.785
II	3.000.000	4,19	12,58	-	1.190.000	1.190.000	9.580.000	9.580.000
III	775.644	3,12	6,39	-	2.344.356	2.344.356	5.614.356	5.614.356
IV	2.504.850	0,14	0,23	-				
V	8.147.000	2,49	3,36	7.100.000				
V/IV	10.651.850	2,63	3,59		-8.021.850	-921.850	-7.061.850	38.150
VI	517.755	0,60	0,60	-	82.245	82.245	82.245	82.245

Tab. 25: Gegenüberstellung von Grundwasserdargebot und Bedarf im Untersuchungsgebiet

LEBENS LAUF

Bauer, Hans Joachim
geboren am 20.2.1947 in Creglingen, Kreis Bad Mergentheim

Eltern: Hanns Bauer und Ehefrau Margit geb. Knapp

Schulbildung : 1953 - 1957 Grundschule in Nürnberg
1957 - 1964 Gymnasium in Nürnberg
1964 - 1966 Lehrzeit als Betonbauer bei Fa. Heilmann & Littmann Bau AG (Nürnberg)
und Besuch der Berufsschule
1966 Facharbeiterbrief

Wehrdienst : 1967 - 1968

Studium : 1969 - 1972 Gesamthochschule Siegen, Abt. Wasserbau/Wasserwirtschaft
1972 Ingenieur (grad.)
1972 - 1975 Technische Universität Berlin, FB Bergbau und Geowissenschaften
1975 Haupt-Diplom im Fach Geologie
1975 - 1977 Dissertation

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Freie Universität Berlin — Technische Universität Berlin — Technische Fachhochschule Berlin

Bisher sind erschienen:

Reihe B

Heft 1: Joachim Steinbeck, Modellseismische Untersuchungen von Rayleighwellen unter besonderer Berücksichtigung einer Deckschicht von variabler Mächtigkeit. 128 S., 58 Abb., 1965. DM 25,—.

Heft 2: Peter Giese, Versuche einer Gliederung der Erdkruste im nördlichen Alpenvorland, in den Ostalpen und in Teilen der Westalpen mit Hilfe charakteristischer Refraktions-Laufzeit-Kurven sowie eine geologische Deutung. 218 S., 83 Abb., 1965. DM 40,—.

Heft 3: Joachim Meyer, Zur Modulation der erdmagnetischen Aktivität. 72 S., 26 Abb., 1973. DM 18,—.

Heft 4: Kurt Bram, Zum Aufbau der Kruste und des oberen Mantels im Bereich des westlichen Grabens des ostafrikanischen Grabensystems und im östlichen Zaire-Becken. Ergebnisse einer Untersuchung der Raumwellen von Nah-Erdbeben. 65 S., 32 Abb., 1975. DM 25,—.

Heft 5: Detlef Damaske, Der Weltzeitgang der erdmagnetischen Aktivität als magnetosphärischer Modulationseffekt. 75 S., 33 Abb., 1976. DM 20,—.

Heft 6: Michael Leppin, Modellversuche zur erdmagnetischen und magnetotellurischen Tiefensondierung mit Hilfe eines elektrolytischen Troges. 68 S., 39 Abb., 1977. DM 19,—.

Heft 7: Hussein El-Ali, Geothermische Modelle für ein Profil zwischen Südadria und Tyrrenis. 51 S., 20 Abb., 1978. DM 18,—.

Hefte 1–6: Vormalis „Geophysikalische Abhandlungen“ des Instituts für Geophysikalische Wissenschaften der FU Berlin

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

Berlin 45, Unter den Eichen 57

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Freie Universität Berlin – Technische Universität Berlin – Technische Fachhochschule Berlin

Bisher sind erschienen:

Reihe A

Band 1 / Götz Knoche: Zur Stratigraphie und Petrographie paläozoischer Sedimente am Ostrand der Serra S. Bruno (Kalabrien, Süditalien), 67 S., 48 Abb., 3 Taf., 1977. DM 19,-.

Band 2 / Peter Eggert: Sedimentpetrographisch-stratigraphische Untersuchungen in den Unterkreide-Serien und dem Bolgenkonglomerat (Oberkreide) der Feuerstätter Decke im Allgäu und Vorarlberg. 167 S., 38 Abb., 18 Taf., 1977. DM 35,-.

Band 3 / Horst Grotjohann: Die Korrelation von Geochemie und Faziesdifferenzierung im erzhöflichen Muschelkalk (Mitteltrias) der Ostalpen. 70 S., 34 Abb., 5 Taf., 10 Tab., 1978.

Friedrich F. Helmdach: Nichtmarine Ostrakoden aus der spanischen Oberkreide. 8 S., 5 Abb., 1 Tafel., 1978. DM 23,-.

Band 4 / Christian Preller: Trend- und Spektralanalysen von Grundwasserstandsganglinien und klimatologischen Reihen zur Ermittlung der Grundwasserneubildung in drei Gebieten von Berlin (West). 84 S., 27 Abb., 22 Taf., 3 Tab., 1978. DM 19,-.

Band 5 / Mohamed Alwashe: Luftbild- und Satellitenbild-Interpretation des lithologischen und tektonischen Baus im Nördlichen Tibesti-Gebirge (Ehi Méché und Tirenno), Tschad. 110 S., 26 Abb., 31 Taf., 22 Tab., 8 Kart., 1978. DM 38,-.

Band 6 / Nigem Yusuf: Mikropaläontologische und geochemische Untersuchungen an Bohrkernen aus dem Roten Meer. 77 S., 23 Abb., 9 Tab., 1978. DM 19,-.

Band 7 / Heiner Krieger: Hydrogeologische Untersuchungen zur Grundwasserneubildung in der Bitburger Mulde (Kylltal). 109 S., 31 Abb., 16 Tab., 1 Kart., 1978. DM 24,-.

Band 8 / Werner Schwarzahns: Otolithen aus dem Unter-Pliozän von Süd-Sizilien und der Toscana. 52 S., 4 Abb., 13 Taf., 1978.

Thomas Schlüter und Werner Schwarzahns: Eine Bonebed-Lagerstätte aus dem Wealden Süd-Tunesiens (Umgebung Ksar Krerachfa), 14 S., 8 Abb., 3 Taf., 1978. DM 24,-.

Band 9 / Thomas Schlüter: Zur Systematik und Palökologie harzkonservierter Arthropoda einer Taphozönose aus dem Cenomanium von NW-Frankreich, 150 S., 99 Abb., 13 Taf., 1978. DM 35,-.

Band 10 / Hans-Joachim Bauer: Der Münsterländer Kiessandzug, Geologie, Hydrologie, Hydrochemie und Wasserwirtschaft. 136 S., 90 Abb., 25 Tab., 1979. DM 28,-.

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

Berlin 45, Unter den Eichen 57