



*Die Belastung der Berliner Gewässer am Beispiel des Teltowkanals*

**Schwerpunkt: Entnahme und Auswertung von Wasserproben  
Erprobung einer Unterrichtseinheit im Fach Erdkunde im  
Fundamentalebenebereich der Oberstufe**

Schriftliche Prüfungsarbeit  
zur Zweiten Staatsprüfung  
für das Amt des Studienrats

Eingereicht von

**Sven Nachtigall**  
Studienreferendar  
Ruhlaer Str. 22  
14199 Berlin

1. Schulpraktisches Seminar  
im Bezirk Steglitz (S)  
Fachseminar Erdkunde

Berlin, den 7. Juli 1998

## INHALTSVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| 1 Einleitung.....                                     | 3  |
| 2 Theoretische Vorüberlegungen.....                   | 4  |
| 2.1 Unterrichtsvoraussetzungen.....                   | 4  |
| 2.2 Abstimmung mit dem Rahmenplan .....               | 6  |
| 2.3 Didaktisch-methodische Begründungen .....         | 6  |
| 2.4 Methodischer Schwerpunkt .....                    | 8  |
| 2.4.1 Die Probenentnahmestelle.....                   | 8  |
| 2.4.2 Die Inhaltsstoffe und Wassereigenschaften ..... | 9  |
| 2.4.3 Die Untersuchungs- und Testverfahren .....      | 10 |
| 2.4.4 Die Auswertung .....                            | 11 |
| 2.5 Inhaltlicher Schwerpunkt.....                     | 12 |
| 2.6 Groblernzielkonzept.....                          | 18 |
| 2.7 Auswahl der Unterrichtsform .....                 | 19 |
| 2.8 Gesamtübersicht über die Unterrichtsreihe.....    | 22 |
| 3 Realisation .....                                   | 23 |
| 3.1 Vorproben und Probenentnahme .....                | 23 |
| 3.1.1 Planungsüberlegungen .....                      | 23 |
| 3.1.2 Verlaufsplanungen .....                         | 25 |
| 3.1.3 Materialien .....                               | 26 |
| 3.1.4 Durchführung .....                              | 27 |
| 3.1.5 Analyse.....                                    | 28 |
| 3.2 Analyse der Wasserproben .....                    | 29 |
| 3.2.1 Planungsüberlegungen .....                      | 29 |
| 3.2.2 Durchführung .....                              | 31 |
| 3.2.3 Analyse.....                                    | 32 |
| 3.3 Auswertung der Wasserproben .....                 | 33 |
| 3.3.1 Planungsüberlegungen .....                      | 33 |
| 3.3.2 Verlaufsplanungen .....                         | 38 |
| 3.3.3 Materialien .....                               | 40 |
| 3.3.4 Durchführung .....                              | 42 |
| 3.3.5 Analyse.....                                    | 43 |
| 3.4 Dokumentation.....                                | 46 |
| 3.5 Gesamtreflexion .....                             | 47 |
| 4 Literatur .....                                     | 51 |

## **1 Einleitung**

Im heutigen Geographieunterricht werden zur Vermittlung der Lerninhalte im Rahmen eines problemorientierten Unterrichts größtenteils Fallbeispiele behandelt. Um diese Beispiele anschaulich darzustellen, werden mit den Schülern verschiedene geographische Arbeitsmittel ausgewertet. Hierzu gehören unter anderem Texte, Karten, Bilder, Diagramme und Statistiken, denen mehr oder weniger aktuelle Daten oder Untersuchungsergebnisse der verschiedensten Institutionen zu Grunde liegen. Behandelt man Fallbeispiele aus Räumen, die außerhalb des Erfahrungsbereiches der Schüler liegen und während der Unterrichtszeit nicht im Rahmen einer Exkursion erreicht werden können, so ist der Lehrer auf diese Informationen angewiesen, deren Verfasser wie auch die Verfahrensweise bei der Informationsgewinnung den Schülern trotz Quellenangabe zumeist fremd sind. Deckt sich jedoch der zu vermittelnde Lerninhalt mit dem Erfahrungsbereich der Schüler, so bietet sich die Auswahl eines Ortes an, der während des Unterrichts besucht werden kann. Hat man ein solches Beispiel zu dem gewünschten Lerninhalt ausgewählt, wie im Fall der vorliegenden Arbeit es die Belastung der Berliner Gewässer am Beispiel des Teltowkanals ist, so kann der Lehrer zur Verdeutlichung der Problematik leicht eine Vielzahl von Daten aus verschiedenen Quellen zur Gewässerbelastung des Teltowkanals zusammenstellen, um diese von den Schülern auswerten zu lassen. Dies ist sicherlich gängige Praxis, jedoch bleiben den Schülern die "nackten Zahlen" häufig fremd, selbst wenn es sich hierbei um Daten handelt, die in einer ihnen vertrauten Umgebung gewonnen wurden. Hat man jedoch das zu untersuchende Raumbeispiel praktisch vor der Haustür der Schule, drängt sich die Möglichkeit geradezu auf, die angesprochenen Daten von den Schülern selbst gewinnen zu lassen. Die Schüler erfahren so nicht nur eine originale Begegnung mit dem Raum, sondern es wird ein persönlicher Bezug zu den später auszuwertenden Daten geschaffen. Die selbständig gewonnenen Informationen werden daher nicht nur aufgrund ihrer nicht zu überbietenden Aktualität einen großen Anreiz bieten, sich mit ihnen weitergehend auseinanderzusetzen. Zudem lernen die Schüler an einem praktischen Beispiel, wie die Informationen, die sie häufig nur als didaktisch aufbereitete Tabellen oder ähnliches kennen, vor Ort gewonnen werden. Auf diese Weise findet ein Lernen aus erster Hand statt, d. h. unmittelbares Erleben und Erfahren, das als weit ergiebiger und wirksamer angesehen werden kann als Lernen aus zweiter oder dritter Hand (Vgl. GRAF u. WENZEL, 1997). Es ist somit sicherlich davon auszugehen, daß die unmittelbare Begegnung mit dem Raum und den Methoden, die dem Schüler einen Zugang zu diesem verschaffen, jedem eindrucksvollen Bild oder Film weit überlegen ist (Vgl. BARNDT u. BOHN, 1985).

## **2 Theoretische Vorüberlegungen**

### **2.1 Unterrichtsvoraussetzungen**

Seit Beginn des zweiten Halbjahres des Schuljahres 1997/98 unterrichte ich eigenverantwortlich die Klasse xxx der Lilienthal-Oberschule in Berlin Steglitz im Fach Erdkunde. An der Lilienthal-Oberschule wird das Fach Erdkunde in der 11. Klasse im halbjährlichen Wechsel mit Geschichte unterrichtet, so daß mir drei Unterrichtsstunden pro Woche zur Verfügung stehen.

Die Klasse xxx besteht aus xxx Mädchen und xxx Jungen. Einen Großteil der Schüler habe ich bereits im Rahmen einiger Unterrichtseinheiten unter Anleitung im Fach Englisch während des vorangegangenen Schuljahres kennengelernt. Die Eltern von xxx Schülerinnen und Schülern stammen aus dem Ausland.

Die Klasse ist lebhaft und beteiligt sich rege am Unterrichtsgeschehen. Das Interesse für das Fach Erdkunde ist relativ groß, allerdings haben lediglich xxx Schüler das Fach als Profilkurs gewählt. Der Umgang der Schüler miteinander ist kameradschaftlich, jedoch ist die fast spielerische Unbekümmertheit, die die Klasse noch im abgelaufenen Schuljahr auszeichnete, einer eher nüchternen und zum Teil abgekühlten Atmosphäre gewichen. Dies dürfte vor allem darauf zurückzuführen sein, daß nach zahlreichen Abgängen xxx Neuzugänge in die Klassengemeinschaft integriert werden mußten bzw. müssen.

Die zu Beginn des Halbjahres durchgeführte Unterrichtseinheit *Ursachen natürlicher und anthropogener Klimaveränderungen* zeigte, daß die Schüler besonders an der Behandlung aktueller Phänomene, wie z. B. dem El Niño und dem Treibhauseffekt, interessiert sind. Erwartungsgemäß standen in diesem Zusammenhang immer wieder die Fragen der Schüler nach den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf ihren Heimatraum im Mittelpunkt. Die abschließenden Diskussionen zu den verschiedenen Problemstellungen verfolgten alle Schüler aufmerksam. Die Beiträge der einzelnen Schüler ließen erkennen, daß in ihren Augen die kritische Auseinandersetzung mit aktuellen umweltpolitischen Fragen bei der Erstellung eines Maßnahmenkatalogs zur Eindämmung des anthropogenen Einflusses auf das Klima im Vordergrund steht. Auffällig war jedoch, daß nur wenige Schüler klare, wenn auch zum Teil radikale, Lösungsmöglichkeiten vorstellten, während ein Großteil der Klasse trotz reger Teilnahme am Unterrichtsgespräch eine schon fast resignierende Haltung zeigte.

Bei der Erarbeitung der verschiedenen Sachverhalte wurde deutlich, daß die Schüler zwar an geographische Arbeitsweisen gewöhnt sind, ihnen der Umgang mit einigen geographischen Arbeitsmaterialien jedoch noch sehr schwer fällt. Insbesondere die Auswertung von Tabellen, Diagrammen und Grafiken bereitete ihnen anfangs große Schwierigkeiten. Die Bearbeitung derartiger Materialien wurde daher zu Beginn des Halbjahres verstärkt geübt, so daß der größte Teil der Schüler zu Beginn der

Gewässeruntersuchung in der Lage war, geographische Arbeitsmaterialien nach dem vierstufigen Bearbeitungsschema "Orientierung/ Beschreibung/ Erklärung/ Wertung" von WALLERT (1993) selbständig auszuwerten.

Bereits zu Beginn des Halbjahres zeigte sich, daß den Schülern Unterrichtsformen, die ihnen eine verstärkte Selbständigkeit abverlangen, zuvor nur selten begegnet waren. Die Arbeit in Gruppen schien einem Großteil der Schüler zwar vertraut, jedoch hatten einige Schüler Bedenken, den ihnen vertrauten Nachbarn zu verlassen und sich einer Gruppe anzuschließen. Die Ursache für diese anfänglichen Schwierigkeiten mag auf die bereits angesprochenen Probleme bei der Eingliederung der neu hinzugekommenen Schüler zurückzuführen sein. Des weiteren muß hinzugefügt werden, daß die Schüler trotz einiger Berührungsängste sehr an den für sie neuen Unterrichtsformen interessiert waren. So erhielt ich beispielsweise auf das zum Thema *Natürliche Ursachen von Klimaänderungen* durchgeführte Stationslernen ein durchweg positives Echo, und die selbständige Arbeit der Schüler war auch an den Stationen des höchsten Schwierigkeitsgrades als produktiv und erfolgreich zu bezeichnen. Lediglich die Präsentation ihrer Ergebnisse vor der Klasse stellte für einige Schüler eine unbekannte Herausforderung dar. Grundsätzlich bleibt festzuhalten, daß die selbständige Erarbeitung von Lerninhalten bei den Schülern motivationsfördernd wirkte und auch die Ergebnisse der Arbeit als befriedigend bezeichnet werden konnten.

Im Hinblick auf die Grundkenntnisse aus den Nachbarwissenschaften Biologie und Chemie war ein insgesamt solides Basiswissen festzustellen. Hervorzuheben ist jedoch, daß xxx Schüler besonders bei der Erarbeitung von Lerninhalten, die besonderes Vorwissen aus dem Bereich der Chemie erforderten, mit sehr guten Kenntnissen aufwarten konnten.

Diese Beobachtungen und Erfahrungen mit der Klasse xxx berücksichtigend, entschied ich mich für eine projektartig (zur Definition vgl. Wahl der Unterrichtsform) aufgebaute Unterrichtseinheit, die am Fallbeispiel des Teltowkanals besonders die Ursachen und Folgen der Gewässerbelastung Berlins deutlich macht. Hierbei werden die Schüler durch die selbständige Entnahme und Analyse von Wasserproben an Methoden bei der Informationsbeschaffung zu geographischen Problemstellungen herangeführt. Im Rahmen der Auswertung der Analyseergebnisse wird an die bisher gemachten Lernfortschritte in bezug auf das selbständige Auswerten von Arbeitsmaterialien angeknüpft und die Distanz zu derartigen Materialien weiter abgebaut. Insgesamt wird besonders die für das Erlangen der Hochschulreife notwendige Selbständigkeit bei der Erarbeitung unbekannter Lerninhalte weiter ausgebildet und gefestigt. Außerdem wird die Fähigkeit der Schüler, in kleinen Teams zusammenzuarbeiten und sich dabei auch mit anderen Gruppen auszutauschen, verbessert.

## **2.2 Abstimmung mit dem Rahmenplan**

Der Vorläufige Rahmenplan für Unterricht und Erziehung in der Berliner Schule für das Fach Erdkunde von 1995 (im Folgenden abgekürzt: Rahmenplan) sieht für den Fundamentalkurs der 11. Jahrgangsstufe die Behandlung des Themas *Planet Erde - Instabilität, Ressourcenknappheit und Grenzen der Belastbarkeit* vor. Dieses Oberthema ist im Rahmenplan in fünf Sequenzen unterteilt, von denen eine den Titel *Trinkwasser als knappe Ressource* trägt. Innerhalb dieser Einheit ist die Behandlung der Gewässerbelastung in Berlin und Brandenburg vorgesehen.

Unter den Erläuterungen des Rahmenplans zu diesem Lerninhalt wird die Durchführung von Exkursionen, Fallstudien und Projekten vorgeschlagen. Neben dem Hinweis auf eine Berücksichtigung des Erfahrungsumfeldes der Schüler ist der Teltowkanal als ein mögliches Fallbeispiel aufgeführt.

## **2.3 Didaktisch-methodische Begründungen**

Aufgrund des vorangegangenen Unterrichts verfügen die Schüler über Kenntnisse der Ursachen und Folgen anthropogener und natürlicher Klimaänderungen. Die Unterrichtseinheit zu dieser Sequenz wurde von mir vor allem wegen der Aktualität des zu diesem Themenkreis gehörenden El-Niño Phänomens an den Anfang des Schulhalbjahres gestellt, jedoch ist die Auswahl der zu bearbeitenden Themenbereiche auch in Zusammenarbeit mit den Schülern erfolgt. Die Schüler haben anhand einiger ausgewählter Problemstellungen die Auswirkungen des Einflusses der menschlichen Gesellschaft auf die Umwelt erarbeitet und sich bereits intensiv mit möglichen Lösungsansätzen auseinandergesetzt, die zu einem verantwortungsvolleren Umgang mit der Natur führen könnten. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf das Prinzip der Nachhaltigkeit gerichtet. Die Vernetzung mit einigen der anderen vom Rahmenplan geforderten Themenbereiche, insbesondere mit dem Thema *Trinkwasser als knappe Ressource*, haben die Schüler bereits im Rahmen der Erstellung von Zukunftsszenarien anthropogener Klimaveränderungen erkannt. Ich beschloß daher, die Unterrichtseinheit zur Gewässerbelastung Berlins im Anschluß an die Problematik der Klimaveränderungen durchzuführen.

Der Teltowkanal ist für eine Fallstudie zur Gewässerbelastung Berlins geeignet, da es sich hierbei neben dem Landwehrkanal um das am stärksten belastete Gewässer Berlins handelt. Er fließt durch stark besiedeltes Gebiet, das zu einem großen Teil industriell genutzt wird, so daß an diesem Beispiel die verschiedenen Einflüsse der industriellen Gesellschaft auf ein Gewässer erarbeitet werden können. Die Belastung des Teltowkanals ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, so daß neben einer ausreichenden Datenversorgung zur aktuellen Belastung auch bereits eine

Sanierungskonzeption vorliegt (Vgl. SENATOR FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ, 1986).

Einen weiteren Grund für die Wahl des Teltowkanals stellt die räumliche Nähe zur Schule dar, da das Untersuchungsgebiet zu Fuß innerhalb von 10 Minuten erreicht und somit während der regulären Unterrichtszeit besucht werden kann. Die Schüler erfahren auf diese Weise eine originale Begegnung mit dem Raum und können am praktischen Beispiel lernen, welche äußeren Anzeichen einer Gewässerbelastung vorhanden sind, mit welchen Verfahren eine Gewässerbelastung ermittelt werden kann und wie die gewonnenen Daten ausgewertet bzw. beurteilt werden können. Die Schüler lernen an einem Beispiel die Ursachen und Folgen einer Gewässerbelastung kennen. Dies wiederum ermöglicht die Auseinandersetzung mit Möglichkeiten zur Verringerung der Belastung eines Gewässers.

Aus der räumlichen Nähe ergibt sich, daß der Teltowkanal im unmittelbaren Erfahrungsumfeld der Schüler liegt. Dies erachtete ich als besonderen Vorteil, da sich die Schüler der Klasse xxx stets besonders an den Auswirkungen von menschlichen Eingriffen in die Umwelt, die ihr alltägliches Leben betreffen, interessiert zeigten. Neben fachlichen, inhaltsbezogenen Kompetenzen fördert die Behandlung eines anschaulichen räumlichen Beispiels daher auch emotionale und affektive Kompetenzen. Im Hinblick auf die Weiterentwicklung instrumenteller Fähigkeiten und Fertigkeiten ermöglicht die Selbständigkeit bei der Datengewinnung die Schaffung eines persönlichen Bezugs zu dem auszuwertenden Material. Den Schülern wird nach der Ermittlung der Belastung deutlich, daß sie weitere Informationen, insbesondere in Form von aufbereiteten Daten, benötigen, um nach den Ursachen der Verschmutzung zu forschen. Die Schüler erkennen auf diese Weise, daß geographische Arbeitsmaterialien wie Tabellen, Grafiken und Diagramme sinnvoll in die Arbeit eingebunden sind und von ihnen eingeordnet, beschrieben, erklärt und bewertet werden müssen.

Im Rahmen der Erarbeitung der Folgen der Belastung müssen die Schüler Informationen zu den untersuchten Parametern in Bezug zu den ermittelten Meßwerten setzen, so daß die Fähigkeiten der Schüler, Informationen bzw. Sachverhalte selbständig zu bewerten, verbessert werden. Diese Selbständigkeit bei der Erarbeitung der Sachverhalte fördert die in der Oberstufe notwendige Selbsttätigkeit und schafft Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten.

Aufgrund der notwendigen Vernetzung mit Lerninhalten der Chemie während der Analyse der Wasserproben sowie Lerninhalten der Biologie im Rahmen der Auswertung der Meßergebnisse werden fächerübergreifende Aspekte des Erdkundeunterrichts in die Arbeit einbezogen, so daß das Interesse der Schüler für diese Fächer ebenfalls angeregt wird und den Schülern ihre schulische Arbeit möglicherweise sinnvoller erscheint.

Im Hinblick auf die soziale Komponente des Unterrichts sollen die Schüler dazu angeleitet werden, ihre Ergebnisse vor der Gruppe strukturiert vorzutragen. Während der Arbeit in Gruppen soll die Teamfähigkeit der Schüler verbessert werden, jedoch ohne dabei das Gefühl aufkommen zu lassen, auf einen Austausch mit den übrigen Gruppen verzichten zu können.

## **2.4 Methodischer Schwerpunkt**

Im Verlauf der Unterrichtsreihe sollen die Schüler dazu befähigt werden, die Belastung eines Fließgewässers mit Hilfe der Entnahme und Analyse einer Wasserprobe sowie einer Auswertung der Untersuchungsergebnisse selbständig zu beurteilen. Dieses Ziel erfordert es, daß die inhaltlichen Aspekte bereits im Vorfeld eng mit den didaktisch-methodischen Entscheidungen verknüpft werden müssen. Die zu treffenden Entscheidungen orientieren sich an folgenden Fragen:

Wo und wie sollen die Proben entnommen werden?

Welche Untersuchungen sollen bzw. können vor Ort durchgeführt werden?

Welche Inhaltsstoffe und Wassereigenschaften sollen untersucht werden?

Mit welchen Verfahren sollen die Untersuchungen durchgeführt werden?

Wie können die Analyseergebnisse ausgewertet werden, und auf welche Weise können die Einzelergebnisse zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden?

### **2.4.1 Die Probenentnahmestelle**

Bei der Auswahl der Probenentnahmestelle sind zahlreiche verschiedene Gesichtspunkte ausschlaggebend. Grundsätzlich bietet sich eine Probenentnahme in der Nähe der Schule aus dem einfachen Grund an, daß ein schnelles Erreichen des Untersuchungsgebietes es ermöglicht, die Untersuchung während der regulären Unterrichtszeit durchzuführen und auch die Analyse der Wasserproben direkt im Anschluß an die Entnahme in der Schule unter Laborbedingungen vorzunehmen. Dies ist vor allem für die Validität der Ergebnisse von Bedeutung, da fast alle untersuchten Parameter mit dem Luftsauerstoff Verbindungen eingehen, so daß die Ergebnisse leicht verfälscht werden, wenn die Wasserprobe nicht bereits kurz nach der Entnahme analysiert wird. Des weiteren liegt die von der Lilienthal-Oberschule aus am schnellsten zu erreichende Probeentnahmestelle (Bäkebrücke), mit Ausnahme des Kraftwerks Lichterfelde und des Klärwerks Stahnsdorf, flußabwärts aller relevanten Einleitungen, so daß die Belastung des Kanals in diesem Bereich leicht nachzuweisen ist. Dennoch entschied ich mich, einen 20-minütigen Fußweg in Kauf nehmend, für eine Probenentnahme an der Emil-Schulz-Brücke kurz vor dem Kraftwerk Lichterfelde, da die Einleitungen des Klärwerks Ruhleben direkt an der Bäkebrücke erfolgen, so daß hier eine Verfälschung der Ergebnisse zu erwarten ist. Als eine zweite Probenentnahmestelle wählte ich einen gut zugänglichen Platz direkt gegenüber dem

Kraftwerk Lichterfelde, um hier einen Einfluß der Kühlwassereinleitungen auf die Gewässerbeschaffenheit nachzuweisen.

#### **2.4.2 Die Inhaltsstoffe und Wassereigenschaften**

Den zu untersuchenden Inhaltsstoffen und Wassereigenschaften kommt bei der Gewässeruntersuchung eine zentrale Bedeutung zu, da die Ergebnisse der Probenanalyse die Basis für die folgende Auswertung beziehungsweise Beurteilung und somit den Fortgang der Unterrichtseinheit bilden.

Bei der Auswahl der Bestimmungen kann grundsätzlich zwischen den direkt vor Ort durchführbaren Untersuchungen (Vorproben und physikalische Bestimmungen) und den ausführlichen Analysen der Wasserproben (chemische Bestimmungen) unterschieden werden (Vgl. BÜTTNER, 1992). Zu den Untersuchungen, die direkt am Gewässer durchgeführt werden können beziehungsweise müssen, gehören die Bestimmungen der Luft- und Wassertemperatur, der Sichttiefe, der Gewässerfarbe, des Wetterzustandes sowie des Wassergeruchs. Zusätzlich können besondere Beobachtungen wie Schaumbildung oder verstärkte Schwimmfracht notiert werden. Diese Voruntersuchungen bieten einerseits die Möglichkeit, Vermutungen über die Stärke und Art der Belastung aufzustellen, andererseits sind besonders die Temperaturmessungen für eine anschließende Auswertung der Analyseergebnisse der chemischen Bestimmungen von entscheidender Bedeutung. Die Durchführung der genannten Vorproben ist somit für jede Gewässeruntersuchung unerlässlich.

Belastete Gewässer in Ballungsräumen sind reich an den verschiedensten Inhaltsstoffen, so daß zahlreiche chemische Bestimmungen vorgenommen werden können. Aus dieser Vielzahl ergibt sich, daß für eine Untersuchung im Rahmen des Geographieunterrichts bestimmte Stoffe (im Folgenden auch als Parameter bezeichnet) ausgewählt werden müssen. Folgende Kriterien erachte ich für diese Auswahl als ausschlaggebend:

1. Die Bestimmungen müssen in einem angemessenen Zeitraum durchzuführen sein, um den zeitlichen Rahmen des Erdkundeunterrichts nicht zu sprengen.
2. Die Untersuchungsverfahren müssen einfach zu handhaben sein, um einerseits die Selbständigkeit der Schüler während der Analyse zu gewährleisten und andererseits Lerninhalte der Chemie nicht in den Vordergrund zu stellen.
3. Die erwarteten Meßergebnisse sollen Rückschlüsse auf die Gewässergüte zulassen.
4. Die Untersuchungsverfahren sollen möglichst genaue Ergebnisse liefern, um die Belastung einer Gewässergüteklasse zuordnen zu können.
5. Die Parameter müssen Auskunft über die mögliche Herkunft der Belastung geben können, um nach Ursachen und Lösungsmöglichkeiten zu forschen.
6. Anhand der Ergebnisse sollen zur Verdeutlichung der Gefahren einer Gewässerbelastung weitreichende Folgen für das Ökosystem aufzeigbar werden.

7. Die einzelnen Parameter sollen miteinander vernetzt sein, um die Ergebnisse der Auswertung zu einem Gesamtbild zusammenzufügen und auf dieser Grundlage eine Gesamtbeurteilung zu ermöglichen.
8. Die Auswahl und Anzahl der Parameter soll ein Arbeiten in Kleingruppen ermöglichen.

Auf der Grundlage dieser Kriterien wählte ich acht chemische Bestimmungen aus (Vgl. Tab. 1), so daß die Schüler in acht Gruppen (7 x 3 und 1 x 2 Schüler) arbeiten können. Die damit verbundene Festlegung der Gruppengröße auf maximal 3 Schüler erfolgte aus dem Grund, daß allen Schüler während der gesamten Untersuchung, insbesondere während der chemischen Bestimmungen, die Möglichkeit geboten werden soll, selbst tätig zu werden. Genaue Erläuterungen zur Erfüllung der Kriterien sind der Auswahl der Testverfahren (Kriterien 1 und 2) sowie der inhaltlichen Schwerpunktsetzung (Kriterien 3 bis 7) zu entnehmen.

Tab.1: Erfüllung der Kriterien 1-7 durch die ausgewählten chemischen Bestimmungen

|                     | 1 | 2 | 3             | 4 | 5 | 6             | 7            |
|---------------------|---|---|---------------|---|---|---------------|--------------|
| Gesamthärte         | X | X | X             | X | X | eingeschränkt | nur indirekt |
| Sauerstoff          | X | X | X             | X | X | X             | X            |
| pH-Wert             | X | X | X             | X | X | eingeschränkt | X            |
| Ammonium            | X | X | X             | X | X | X             | X            |
| Nitrit              | X | X | X             | X | X | X             | X            |
| Nitrat              | X | X | X             | X | X | X             | X            |
| Phosphat            | X | X | X             | X | X | X             | X            |
| Schwefelwasserstoff | X | X | eingeschränkt | O | X | X             | X            |

X = voll erfüllt; O = nicht erfüllt

### 2.4.3 Die Untersuchungs- und Testverfahren

Für die Durchführung der Vorproben und physikalischen Bestimmungen werden lediglich wasserdichte und zuverlässige Thermometer, die mir die Kollegen der Fachbereiche Physik und Chemie freundlicherweise zur Verfügung stellten, sowie ein Sichttiefenmeßgerät benötigt. Letzteres ist ein relativ teures, aber sehr selten benötigtes Gerät, so daß dies an der Lilienthal-Oberschule nicht vorliegt. Ich entschied mich daher, dieses Gerät aus einem weißen Aschenbecher, der die Normgröße von ca. 25 cm erfüllte sowie einer Paketschnur, die ich alle 10 cm mit Knoten versah und anschließend mit dem Aschenbecher verband, selbst herzustellen.

Diese Untersuchungen sind sehr schnell und einfach durchzuführen, so daß sie keiner besonderen Erläuterungen gegenüber den Schülern bedürfen.

Zur Entnahme der Wasserproben stellte ich den Schülern gut ausgespülte Mineralwasserflaschen, die mit einer "Rettungsleine" versehen waren, zur Verfügung, da die Schule nicht im Besitz von Schöpfflaschen zur Probenentnahme ist.

Bei der Analyse der Wasserproben entschied ich mich für eine Durchführung mit Hilfe von sogenannten "Schnelltests", die es ermöglichen, bestimmte Inhaltsbeziehungsweise Schadstoffe halbquantitativ nachzuweisen. Diese haben den Vorteil, daß sie nur wenig Zeit (weniger als 15 Minuten) in Anspruch nehmen, aber dennoch über das titrimetrische Prinzip und/oder den Farbvergleich mit vorgegebenen Farbmustern relativ genaue Ergebnisse liefern. Weiterhin erfordern diese Tests praktisch keine chemischen Vorkenntnisse, da sie aus Sicht der Chemie zumeist "black-box"- Methoden sind, d. h. die chemischen Reaktionsvorgänge sind nur schwer nachvollziehbar und spielen daher keine Rolle (Vgl. SCHMIDKUNZ, 1992). Da die Genauigkeit der auf diese Weise ermittelten Ergebnisse in großem Maße von der Sorgfalt bei der Testdurchführung abhängt und die Gebrauchsanleitungen der Tests unter diesem Gesichtspunkt häufig bemängelt wurden (Vgl. FLASSHAAR u. LINDEMANN, 1992), formulierte ich diese zum Teil neu und bereitete sie graphisch auf (Vgl. Kap. 3.2.1).

Zahlreiche Firmen bieten heute solche Schnelltests zur Gewässeruntersuchung als Kompaktpaket in Form eines Analysekkoffers an. Da der an der Lilienthal-Oberschule vorhandene Koffer aufgrund seines Alters keine genauen Untersuchungsergebnisse erwarten ließ, entschied ich mich für den Neukauf des Aqualan-Ökotest Wasserlabors der Firma Riedel-de Haën, mit dem die folgenden Bestimmungen durchgeführt werden können: pH-Wert, Gesamthärte, Ammonium, Nitrit, Nitrat und Phosphat. Zur Ermittlung des Sauerstoffgehalts beschloß ich aus Kostengründen die Anschaffung eines Aquarientestsets der Firma Tetra. Die Kosten für die Anschaffung dieser Tests übernahm freundlicherweise der Fachbereich Biologie. Der Nachweis von Schwefelwasserstoff erfolgte mit Hilfe von Bleiacetatpapier, einer Glasstopfenflasche und einer Brausetablette aus dem Fachbereich Chemie.

#### **2.4.4 Die Auswertung**

Die verschiedenen Bestimmungen bilden die Basis für die Auswertung der Meßergebnisse. Dies bedeutet, daß die für die Auswertung relevanten Entscheidungen bereits im Rahmen der Auswahl der Parameter getroffen werden müssen. Es sei daher an dieser Stelle auf die Auswahlkriterien 3 bis 7 hingewiesen, aus denen hervorgeht, welche Möglichkeiten die ausgewählten Parameter im Hinblick auf die Lerninhalte eröffnen. Auch auf die gewählte Aktionsform der Gruppenarbeit wurde bereits hingewiesen (Kriterium 8).

Um den Schülern eine selbständige Auswertung der Untersuchungsergebnisse zu ermöglichen, die hauptsächlich in Form von Zahlen- bzw. Konzentrationsangaben vorliegen, müssen ihnen bestimmte Hilfsmittel an die Hand gegeben werden. Grundsätzlich sind hierzu die verschiedensten geographischen Arbeitsmaterialien, wie

Texte, Tabellen, Diagramme, Graphiken und Karten geeignet. Die Auswahl dieser Materialien, die sich ebenfalls bereits zum Teil aus den Kriterien zur Auswahl der Parameter ergibt (z. B. Gewässergüteklassen), wird im Rahmen der Planung der einzelnen Unterrichtsstunden bzw. -phasen näher erläutert.

## **2.5 Inhaltlicher Schwerpunkt**

Der am 2. Juni 1906 eingeweihte Teltowkanal verläuft von der Dahme in Grünau bis zur Glienicker Lake und hat eine Länge von 37,8 km. Hinzu kommt ein Abzweig aus der Oberspree, der Britzer Zweigkanal, mit einer Länge von 3,4 km.

Ein Hauptgrund für den Bau war das Fehlen einer natürlichen Entwässerung für die südlich und südwestlich von Berlin gelegenen Ortschaften des Kreises Teltow, wie z.B. Steglitz und Groß-Lichterfelde. Diese Orte verdanken dem Teltowkanal ihre wirtschaftliche Entwicklung, da der Teltowkanal zum Aufnahmegewässer des anfallenden Regen- und Betriebswassers wurde. Hinzu kam bei dem schnellen Wachstum dieser Orte der große Bedarf an Bau- und Brennstoffen sowie an weiteren industriellen Erzeugnissen. Der Teltowkanal wurde daher auch als Schifffahrtskanal konzipiert. Als südliche Umfahrung Berlins für die Durchgangsschifffahrt erhielt der Kanal schließlich eine weitere Bedeutung (Vgl. SENATOR FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ, 1986).

Diese Aufgaben hat der Teltowkanal bis heute voll erfüllt, jedoch ergibt sich aus dieser intensiven Nutzung eine z. T. außerordentlich hohe Gewässerbelastung, die längerfristig betrachtet schwerwiegende Auswirkungen auf das Ökosystem haben kann. Zudem stellt die Belastung bereits heute eine Gesundheitsgefährdung für den Menschen dar.

Tab. 3: Biologische Gewässergüte des Teltowkanals an der Mündung in den Griebnitzsee

| Biologische Gewässergüte        | I praktisch unbelastet | I-II  | II mäßig belastet | II-III | III stark belastet | III-IV | IV übermäßig belastet |
|---------------------------------|------------------------|-------|-------------------|--------|--------------------|--------|-----------------------|
| pH-Wert                         | 7,0                    | 7,5   | 8,0               | 8,5    | 9                  | 9,5    | 10                    |
| Sauerstoffsättigungsanteil in % | um 100                 | 85-95 | 70-85             | um 50  | 30-40              | um 20  | <10                   |
| Gesamthärte in °dH              | <20*                   |       | 29                |        | 40                 |        |                       |
| Nitrit in mg/l                  | <0,02                  | 0,1   | 0,2               | 0,5    | 4,0                | 6,0    | 8,0                   |
| Nitrat in mg/l                  | <1,0                   |       | <5,0              | um 5   | >5                 |        |                       |
| Ammonium in mg/l                | Spuren                 | 0,1   | 0,1-0,4           | um 1   | >2                 | 4      | >4                    |
| Phosphat in mg/l                | <0,03                  |       | <0,5              |        | 0,5                |        | (3,8)                 |
| Schwefelwasserstoff             | kein Nachw.            |       |                   |        |                    |        |                       |

**Anmerkungen:** Die Klasseneinteilung wurde BARNDT u. BOHN, 1985 entnommen. Die Hervorhebungen entsprechen den langjährigen Mittelwerten nach SENATOR FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ, 1986. Der mit \* gekennzeichnete Wert entspricht eigenen Messungen.

Eine Einzelbetrachtung der von mir für die Unterrichtseinheit ausgewählten chemischen Parameter ergibt folgendes Bild (Vgl. Tab. 3):

**Der pH-Wert**, der Werte von 0 (extrem sauer) bis 14 (extrem basisch) annehmen kann, liegt nur geringfügig über dem Idealwert von 7. Anhand dieses Wertes läßt sich somit eine gesundheitsgefährdende Belastung nicht nachweisen. Die leichte Verschiebung des Wertes in den basischen Bereich zeigt jedoch, daß im Wasser Kohlensäure verbraucht wird. Dies läßt den Rückschluß zu, daß im Gewässer ein verstärktes Pflanzenwachstum stattfindet. Dieses Pflanzenwachstum wiederum kann ein Indiz für den Eintrag von wachstumsfördernden Stoffen wie Ammonium, Nitrit, Nitrat und Phosphat sein (RIEDEL-DE HAËN, 1998).

Zudem hat Wasser die Eigenschaft, Kohlendioxid aus der Luft aufzunehmen und zu lösen. Diese Eigenschaft wird jedoch von der Temperatur beeinflusst, das heißt, je wärmer das Wasser ist, desto weniger Kohlendioxid kann gelöst werden. Hieraus ergibt sich, daß im Sommer, wenn auch die pflanzliche Aktivität noch verstärkt wird, ein wesentlich stärkerer Anstieg des pH-Wertes zu erwarten ist.

**Der Sauerstoffgehalt** ist temperaturabhängig und läßt daher nur bedingt Rückschlüsse auf die Qualität des Gewässers zu. Unterschreitet der Wert 4-5 mg/l, so können z. B. die meisten Fische nicht mehr existieren. Dennoch läßt der Vergleich des aktuellen Werts mit dem theoretisch möglichen Sauerstoffsättigungswert eine Aussage zur Qualität des Gewässers zu. So läßt sich die Sauerstoffsättigung in % nach der Formel  $S = c(O_2) \times 100 / c_s$ , wobei  $c$  = gemessenen Sauerstoffkonzentration und  $c_s$  = Sättigungswert, berechnen.

Der Sauerstoffsättigungsanteil des Teltowkanals liegt bei nur ca. 50 %. Dies bedeutet, daß das Wasser wesentlich mehr Sauerstoff aufnehmen könnte. Da Sauerstoff im Lebensraum Wasser für alle Organismen lebenswichtig ist, kann der ermittelte Wert bedeuten, daß Fische, Mikroorganismen und Wasserpflanzen unter Sauerstoffmangel leiden. Auch die Mikroorganismen, die für den Schadstoffabbau sorgen, benötigen eine

ausreichende Sauerstoffversorgung, so daß auf einen unzureichenden Schadstoffabbau geschlossen werden kann.

Als eine Hauptursache des geringen Sauerstoffsättigungsanteils kann der Eintrag von organischen Belastungen in den Teltowkanal angesehen werden. Diese bewirken eine Verringerung des Sauerstoffgehaltes, da der Abbau der abgestorbenen organischen Substanz Sauerstoff benötigt. Weiterhin können die dargestellten Werte auch auf eine erhöhte Belastung durch die bereits erwähnten wachstumsfördernden Stoffe hinweisen, da bei einem erhöhten Pflanzenwachstum die Belastung durch abgestorbene organische Substanz zunimmt. Zudem ist der Teltowkanal ein sehr langsam fließendes Gewässer (16 cm/s), so daß der natürliche Eintrag von Sauerstoff aufgrund von Turbulenzen, Wellenschlag, Gefällstrecken etc. sehr gering ist. Die Sauerstoffverhältnisse sind in großem Maße witterungs- und vor allem temperaturabhängig. Dies bedeutet, daß der hier vorgestellte Mittelwert nur eine eingeschränkte Aussagekraft besitzt und aktuelle Messungen ein völlig anderes Bild ergeben können. Besonders kritische Sauerstoffverhältnisse können bei steigender Wassertemperatur, die zu einer Absenkung des Sättigungswertes führt, in Kombination mit starken Regenfällen, die organische Substanz in das Gewässer schwemmen, entstehen. Hieraus folgt, daß die Kühlwasser-einleitungen der Kraftwerke, die eine Temperatur von bis zu 30° C aufweisen können, die Sauerstoffverhältnisse entscheidend beeinflussen.

**Die Gesamthärtebestimmung** gehört zu einer der Basisuntersuchungen bei der Bestimmung der Gewässergüte, auch wenn sie nur bedingt Aussagen über den Eintrag anthropogener Verunreinigungen zuläßt und keine offensichtliche Vernetzung mit den übrigen untersuchten Parametern aufweist.

Die Härte von Wasser wird durch die im Wasser gelösten Calciumsalze bestimmt. Das Vorhandensein eines hohen Calciumgehaltes im Wasser entspricht einer hohen Wasserhärte, die in deutschen Härtegraden (°d) gemessen wird. Ein Grad deutscher Härte (1° d) wird dann erreicht, wenn in einem Liter Wasser 10 mg Calciumoxid gelöst sind. Die zusätzlich im Wasser vorhandenen Magnesiumsalze werden zur Härtebestimmung auf Calciumoxid umgerechnet, so daß man von der Gesamthärte (Calcium + Magnesiumsalze) spricht.

Die Wasserhärte des Trinkwassers ist auch bei "sehr hartem" Wasser kein Problem für die Gesundheit. Dies bedeutet, daß die für den Teltowkanal ermittelten Werte nicht auf eine Gesundheitsgefährdung hinweisen. Die Gebrauchseigenschaften des Wassers werden jedoch bedeutend durch die Härte beeinflusst.

Die Wasserhärte wird durch die Herkunft des Wassers bestimmt: Oberflächengewässer, deren Ursprünge nicht in Gebirgsquellen, sondern im Regenwasser liegen, sind meistens sehr weich. Wasser aus tiefen Brunnen hat oft einen relativ hohen

Calciumgehalt durch die ständige Berührung mit unterirdischem Gestein und Erdschichten.

**Ammoniak** ( $\text{NH}_3$ ), **Nitrit** ( $\text{NO}_2^-$ ) und **Nitrat** ( $\text{NO}_3^-$ ) sind die für Wasserwirtschaft und Abwassertechnik wichtigen Verbindungen des Stickstoffs. Diese drei Substanzen sind wesentliche Stationen im sogenannten Stickstoffkreislauf, der in der Natur durch mikrobiologische Prozesse durchlaufen wird. Je nachdem welche Bedingungen im jeweiligen Milieu vorliegen (sauerstoffarm oder sauerstoffreich), verschieben sich deren Konzentrationen zu der einen oder anderen Seite.

**Nitrit** ( $\text{NO}_2^-$ ) ist eine Vorstufe des Nitrats ( $\text{NO}_3^-$ ), von dem es sich durch ein Sauerstoffatom unterscheidet. Mit einem erhöhten Vorkommen von Nitrit in unbelasteten Gewässern ist kaum zu rechnen, da bereits die Oxidationswirkung des Luftsauerstoffs ausreicht, um Nitrit zum Nitrat zu oxidieren (also 1 Sauerstoffatom zuzufügen). Die für den Teltowkanal ermittelten Werte weisen somit auf unzureichende Sauerstoffversorgung hin.

Erhöhte Nitritgehalte sind ebenso wie der Ammoniumnachweis ein wichtiger Indikator für eine mögliche Fäkalverunreinigung (Jauche, Kot) des Wassers. Nitrit entsteht in diesem Fall bei dem natürlichen Abbau von organischen Stickstoffverbindungen als Zwischenstufe im Stickstoffkreislauf. Außer durch die Zersetzung von organischen Abfallprodukten kann Nitrit auch durch Reduktion von Nitrat entstehen (Abgabe eines Sauerstoffatoms).

Die Nitritbelastung des Teltowkanals ist als gesundheitsgefährdend einzustufen. Bei extrem hohen Belastungen kann bei Säuglingen die in manchen Fällen zum Tode führende Blausucht auftreten (Cyanose, Methämoglobinämie). Die Folge ist eine "innere Erstickung", die einer Blausäurevergiftung sehr ähnlich ist. Eine weitere Gefahr für die Gesundheit besteht durch die Bildung sogenannter Nitrosamine aus Nitrit und Eiweißbestandteilen. Diese zeigen im Tierversuch krebserzeugende Wirkung und verändern die Erbsubstanz.

**Nitrate** haben einen sehr positiven Einfluß auf das Pflanzenwachstum. Ein vorher im biologischen Gleichgewicht stehendes Ökosystem kann dann durch den als Folge der Überdüngung überhöhten Anteil biologischen Materials "umkippen". Es kommt zur Ausbildung eines Fäulnismilieus, da die Zersetzung abgestorbener Biomasse mehr des im Wasser gelösten Sauerstoffs verbraucht als durch die Sauerstoffproduktion der Wasserpflanzen nachgeliefert werden kann. Die Folge dieser sogenannten Eutrophierung ist die Ausbildung eines reduzierenden (sauerstoffarmen) Milieus mit katastrophalen Folgen für die meisten Lebewesen in dem Gewässer. Eine direkte giftige Wirkung geht vom Nitrat nicht aus. Aufgenommenes Nitrat wird relativ schnell wieder vom Körper ausgeschieden. Eine große Gefahr, insbesondere für Säuglinge, besteht

jedoch durch die mikrobiologische Umwandlung des Nitrates zum Nitrit im menschlichen Körper.

Nitrat gehört somit zu den problematischen Stoffen im Trink- und Oberflächenwasser, dessen Gefährdungspotential für die Gesundheit nur in Ansätzen bekannt ist, so daß auch die Nitratbelastung des Teltowkanals als gesundheitsgefährdend einzustufen ist.

**Ammonium** entsteht bei der Zersetzung stickstoffhaltiger organischer Substanzen durch Mikroorganismen unter sauerstoffarmen Bedingungen. Eine direkte giftige Wirkung von Ammonium ist, im Gegensatz zum Ammoniak, nicht bekannt. Da jedoch auch durch die mikrobiologische Zersetzung von Abfallstoffen und Fäkalien Ammonium entstehen kann, ist bei einem positiven Befund stets mit einer sehr ernst zu nehmenden Verschmutzung des Wassers zu rechnen.

Zusammenfassend ist anhand der dargestellten Meßwerte für Nitrit, Nitrat und Ammonium eine Gesundheitsgefährdung festzustellen. Die Belastung weist auf eine unzureichende Abwasserreinigung der Klärwerke hin. Im Hinblick auf die Sauerstoffverhältnisse besteht zudem die Gefahr des "Umkippen" des Gewässers und damit einhergehend die Möglichkeit einer noch stärkeren Gefährdung von Mensch und Umwelt.

**Phosphat** liegt im natürlichen, unbelasteten Grund- und Gebirgswasser hauptsächlich als löslicher Bestandteil der natürlichen phosphathaltigen Mineralien Apatit und Phosphorit und damit als ortho-Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) vor. Die meist unterhalb von 0,1 mg/l liegenden Phosphatgehalte in solchen Gewässern sind als natürlich zu betrachten und können in dieser Größenordnung auch im Trinkwasser vorhanden sein.

Der anthropogene Eintrag von Phosphor in die Umwelt hat einen wesentlichen Einfluß auf die Phosphorgehalte im Grund-, Oberflächen- und Trinkwasser. Etwa die Hälfte des konsumierten Phosphors ist als natürlicher Bestandteil in Nahrungsmitteln enthalten. Der Rest stammt aus Wasch-, Reinigungs- und Spülmitteln. Der größte Teil dieses Phosphors wird über die kommunale Kanalisation den Kläranlagen zugeführt, dort in eine schwerlösliche Form überführt und abfiltriert. Dieser Klärschlamm kann dann einem "Phosphatrecycling", d. h. einer Umarbeitung in Düngemittel zugeführt oder in Klärschlammdeponien gelagert werden. Eine weitere, nicht unwesentliche Phosphatbelastung für die Umwelt kann durch den übermäßigen Verbrauch sogenannter Weichmacher oder Enthärter entstehen. Diese Substanzen (Natriumpolyphosphate) enthärten das Wasser, indem sie mit Calcium lösliche Verbindungen bilden.

Phosphor hat keine bisher nachgewiesene gesundheitsbeeinträchtigende Eigenschaft. Aufgrund der wachstumsfördernden Wirkung auf Pflanzen kann jedoch ein erhöhter Phosphorgehalt zur Eutrophierung von Gewässern führen.

Ein erhöhter Phosphatgehalt im Trinkwasser ist neben Ammonium und Nitrit ein wichtiger Hinweis auf die mögliche Verschmutzung des Wassers mit Fäkalien.

Die dargestellten Phosphatkonzentrationen ergeben somit zwar keine direkte Gesundheitsgefährdung, jedoch besteht aufgrund der außerordentlichen Belastung die Gefahr der Eutrophierung, die die Möglichkeit einer noch stärkeren Belastung auch im Hinblick auf die übrigen Parameter beinhaltet.

**Schwefelwasserstoff** ( $H_2S$ ) ist ein Abbauprodukt von Eiweiß, also von organischem Material. Es entsteht durch Umsetzung von Schwefeleisen und Kohlensäure im Boden oder durch die Tätigkeit von Schwefelbakterien. Beim mikrobiellen Abbau entsteht unter anaeroben Verhältnissen aus organischen S-Verbindungen Schwefelwasserstoff. Er ist wasserlöslich, bei Zimmertemperatur gasförmig und riecht nach faulen Eiern.

Schwefelwasserstoff wird bei Vorhandensein von Sauerstoff zu unschädlichen Verbindungen (Sulfaten) umgewandelt. Fehlt dagegen Sauerstoff, bleibt der Abbau unvollständig und Schwefelwasserstoff läßt sich im Wasser nachweisen.

Schwefelwasserstoff ist für alle Lebewesen giftig. Gelangt er in das menschliche Verdauungssystem, so kann er Blähungen und Schmerzen hervorrufen. Im Darm von Säuglingen können sich Säuren bilden, die zu Durchfall führen.

Für die Beurteilung der Gewässergüte, d. h. die Unterteilung in verschiedene Klassen liegen für Schwefelwasserstoff keine Grenzwerte vor. Es wird jedoch davon ausgegangen, daß Schwefelwasserstoff im Trinkwasser nicht nachweisbar sein darf (EG-Richtlinie Trinkwasserqualität: Amtsblatt EG Nr. L 229/11 nach RIEDEL-DE HAËN, 1998).

Die Nichtnachweisbarkeit von Schwefelwasserstoff im Teltowkanalwasser dürfte sich vor allem daraus ergeben, daß noch ausreichend Sauerstoff für die Umwandlung zu Sulfaten vorhanden ist. Bei einer Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse besteht jedoch die Möglichkeit, daß Schwefelwasserstoff nicht mehr gänzlich umgewandelt wird und es zu einer Gesundheitsgefährdung kommt.

Wie sich aus den Einzelbetrachtungen der Parameter ergibt, ist der Teltowkanal vor allem durch die problematischen Stoffe Nitrit, Nitrat, Ammonium und Phosphat belastet. Diese Belastung führt dazu, daß auch eine Gesundheitsgefährdung des Menschen besteht. Zudem sind die Sauerstoffverhältnisse alarmierend, so daß aufgrund der Vernetzung der Parameter, innerhalb derer der Faktor Sauerstoff im Mittelpunkt steht (Vgl. Abb. 3), von einer besonderen Gefährdung des Ökosystems ausgegangen werden muß. Der Teltowkanal kann somit insgesamt als stark belastet eingestuft werden.

Es muß jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die hier dargebotene Beurteilung auf langjährigen Mittelwerten beruht. Dies bedeutet, daß aktuelle Meßwerte starke Abweichungen aufweisen können (Vgl. SENATOR FÜR STADT-ENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ, 1986).

Die Hauptverursacher dieser Belastung stellen die zahlreichen Einleitungen in den Teltowkanal dar, da das Zulaufwasser aus Dahme und Spree als relativ unbelastet gilt (Vgl. SENATOR FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ, 1986). An erster Stelle stehen hierbei die Einleitungen der öffentlichen Klärwerke, die vor allem für die hohen Nitrit-, Nitrat-, Ammonium- und Phosphatkonzentrationen verantwortlich sind (Vgl. Arbeitsbogen, S. 40). Den Haupteinfluß auf die Sauerstoffverhältnisse dürften die enormen Kühlwassereinleitungen der Kraftwerke ausmachen (Vgl. Arbeitsbogen, S. 40). Die Regenwassereinleitungen können hierbei trotz ihres relativ geringen Anteils am Gesamtabfluß besonders bei kürzeren Beobachtungszeiträumen nicht außer acht gelassen werden, da sie dem Teltowkanal große Mengen organischen Materials zuführen.

Wie sich aus dem Vorangegangenen ergibt, sind bei der Erstellung einer Sanierungskonzeption besonders die Sauerstoffverhältnisse sowie die Nährsalzbelastung zu berücksichtigen. Dies ist bei der vom SENATOR FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ (1986) vorgestellten Konzeption folgerichtig auch der Fall. Allerdings zielen die vorgeschlagenen Maßnahmen lediglich darauf ab, *die Beschaffenheit des Teltowkanalwassers so zu stabilisieren, daß auch bei außergewöhnlichen Umweltbedingungen, wie lang anhaltendem Niedrigwasser oder großen Niederschlagsereignissen, die Lebensfähigkeit des Gewässers erhalten bleibt* (SENATOR FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ, 1986, S. 108). Dies erscheint aus wirtschaftlicher Sicht im Hinblick auf die Lebensfähigkeit der Stadt die einzig vertretbare Möglichkeit, jedoch kann dieser Ansatz aus ökologischer Sicht nicht befriedigen, da ein "Umkippen" des Teltowkanals auch bei einer Stabilisierung der derzeitigen Situation nicht ausgeschlossen werden kann. Zudem liegt bereits eine Gesundheitsgefährdung vor, die innerhalb der vorgeschlagenen Konzeption nur unzureichend berücksichtigt wird.

## **2.6 Groblernzielkonzept**

Aus der inhaltlichen und methodischen Schwerpunktsetzung ergibt sich für die Konzeption der Unterrichtsreihe, daß die Schüler zunächst mögliche äußere Anzeichen einer Belastung kennenlernen sollen. Dies dient einerseits dazu, die Vorerfahrungen der Schüler mit einzubeziehen, andererseits soll der Kenntnisstand der Schüler, die über ein derartiges Vorwissen nicht verfügen, an den der übrigen Schüler angeglichen werden. Auf diese Weise soll der Blick der Schüler für derartige äußere Kennzeichen einer Verschmutzung geschärft werden, um sie in die Lage zu versetzen, auch die Belastung anderer Gewässer zumindest oberflächlich einschätzen zu können. Zusätzlich kann dies Interesse für das Problem wecken und somit die Motivationsgrundlage für die weitergehenden Untersuchungen bilden.

Als logische Folge schließt sich an die äußeren Kennzeichen der Belastung eine genaue Analyse der Gewässergüte an, d. h., die Schüler können ihre zuvor geäußerten Vermutungen überprüfen. Anhand der Analyse vor Ort genommener Wasserproben auf das Vorhandensein ausgewählter, für eine Belastung charakteristische Inhaltsstoffe erwerben die Schüler Kenntnisse verschiedener ausgewählter Methoden der Wasseranalyse und lernen Verfahren zur Aufbereitung der gewonnenen Meßergebnisse kennen. Zusätzlich dürfte die Eigenständigkeit bei der Gewinnung der Datengrundlage verstärkt dazu motivieren, sich mit den Ursachen und Folgen der Belastung auseinanderzusetzen.

Über die anschließende Auswertung der Meßergebnisse erwerben die Schüler zunächst Kenntnisse der Ursachen und Folgen der Gewässerbelastung durch die einzelnen ausgewählten Stoffe, bevor eine Gesamtbeurteilung der Gewässerbelastung des Teltowkanals erfolgt. Hierbei sollen die Schüler besonders die Vernetzung der einzelnen untersuchten Parameter und somit die Komplexität des Ökosystems eines Fließgewässers erkennen und erläutern können. Zusätzlich lernen die Schüler das in Deutschland gängige Verfahren der Beurteilung der Gewässergüte mit Hilfe von biologischen Gewässergüteklassen kennen.

Die abschließende Auseinandersetzung mit einer möglichen Sanierungskonzeption schafft ein Problembewußtsein für die Schwierigkeit eines ökologisch sinnvollen, aber auch wirtschaftlich möglichen Umweltschutzes. Es wird zudem deutlich, welche Grundlagen, vor allem gesellschaftlicher Art, geschaffen werden müssen, um ein Gewässer wie den Teltowkanal nachhaltig zu schützen.

Aus dieser Konzeption ergeben sich folgende **Problemlernziele**:

1. Die Schüler kennen die Problemstellung der Gewässerbelastung Berlins sowie den vorgesehenen Ablauf der Gewässeruntersuchung am Teltowkanal mit den hierfür ausgewählten Parametern.
2. Die Schüler kennen ausgewählte äußere Kennzeichen einer Gewässerbelastung am Beispiel des Teltowkanals sowie Methoden der Vorprobenbestimmung und Probenentnahme.
3. Die Schüler kennen Untersuchungsverfahren zur Bestimmung ausgewählter chemischer Parameter einer Gewässerbelastung sowie Methoden zur Ergebnisaufbereitung.
4. Die Schüler kennen die Ursachen und Folgen der Gewässerbelastung des Teltowkanals in bezug auf ausgewählte Parameter.
5. Die Schüler kennen die Gewässerbelastung des Teltowkanals als Problem eines Aufnahmegewässers, das durch dichtbesiedeltes und industriell genutztes Gebiet fließt sowie den damit verbundenen Interessenkonflikt bei der Erstellung einer Sanierungskonzeption.

## **2.7 Auswahl der Unterrichtsform**

Um den Schülern die möglichst selbständige Erarbeitung der Lerninhalte zu ermöglichen, entschloß ich mich dazu, die Unterrichtsreihe in Form eines Projektes durchzuführen. Nach FREY (1991) ist die Unterrichtsform des Projektes nicht klar definiert. Die Definition eines Projektes ergibt sich vielmehr daraus, daß Projektunterricht verschiedene Merkmale, wie z. B. Erprobung der Handlungskompetenz, Erproben neuer Lernsituationen und -strategien, Verringerung der Distanz zwischen Leben und Schule, Üben der eigenständigen Materialsammlung und -auswertung, Einbeziehung aller Sinne sowie fächerübergreifendes Lernen, erfüllt und sich in charakteristische Phasen unterteilen läßt.

### **1. Projektinitiative**

Anregung des Projekts Thema/Idee wird grob umrissen

### **2. Auseinandersetzung mit Punkt 1.**

Ideensammlung, Erkennen der Möglichkeiten, Abstecken des zeitlichen Rahmens

Projektskizze möglicher Abschluß

### **3. Entwicklung eines Betätigungsgebietes**

Herausarbeitung von Schwerpunkten, Aufgabenverteilung, Überprüfung des

Vorwissens, Feststellung der Fähigkeiten, Zielsetzung

Projektplan möglicher Abschluß

### **4. Projektdurchführung**

### **5. Projektabschluß**

Wie sich aus dieser Phaseneinteilung ergibt, wird ein derart aufgebautes Projekt zu einem großen Teil von der Selbst- und Mitbestimmung der Schüler getragen, die nicht erst bei der Erarbeitung von Lerninhalten, sondern bereits bei der Auswahl der Inhalte und Methoden von entscheidender Bedeutung sind. Die vorliegende Unterrichtseinheit erfordert jedoch eine genaue vorherige Festlegung sowohl der Lerninhalte als auch der Untersuchungsmethoden. Dies liegt vor allem darin begründet, daß die Auswahl des Fallbeispiels besonders naheliegend ist und von den Schülern aufgrund ihres Kenntnisstandes eine Auswahl der Untersuchungsverfahren in einem angemessenen zeitlichen Rahmen kaum erwartet werden kann. Daraus ergibt sich, daß die Phasen 1 bis 3 des vorgestellten Schemas bereits im Vorfeld von mir durchlaufen und die Ergebnisse dieser Arbeit am Beginn der Unterrichtseinheit den Schülern vorgestellt werden müssen. Die eigentliche Projektdurchführung sowie der Projektabschluß können anschließend in Anlehnung an die vorgestellte Gliederung erfolgen. Auf diese Weise wird ein Großteil der Merkmale beziehungsweise Ziele eines Projektunterrichts erfüllt.

Aus den hier dargestellten Überlegungen ergibt sich für die Unterrichtseinheit in Anlehnung an FREY (1991) folgendes Grobschema, daß sich zudem an den drei Anforderungsbereichen (1. kennen 2. verwenden 3. beurteilen) orientiert:

Abb. 1: Phaseneinteilung des Projekts

**1. Projektplan (kennen):**

Vorstellung des Unterrichtsvorhabens

**2. Projektdurchführung (kennen und verwenden):**

- a) Gewässeruntersuchung vor Ort und Probenentnahme
- b) Analyse der Wasserproben
- c) Auswertung der Meßergebnisse

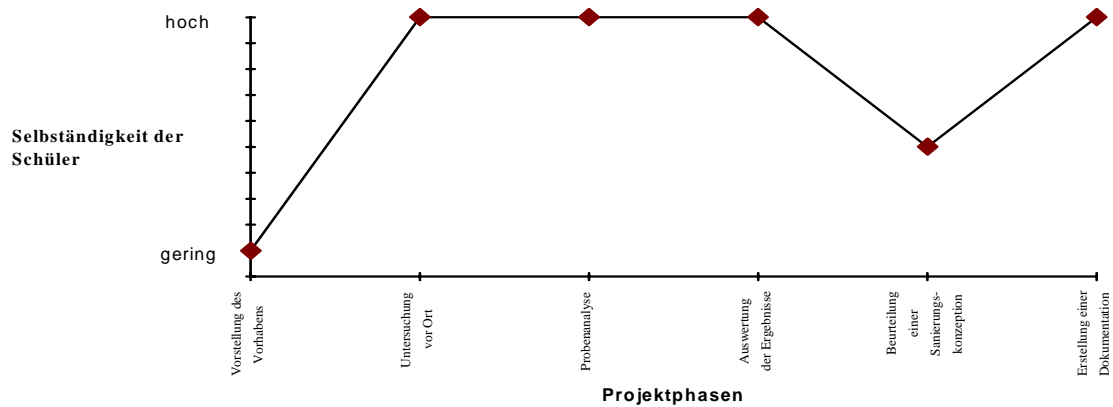
**3. Projektabschluß (beurteilen):**

- a) Beurteilung einer Sanierungskonzeption
- b) Erstellung einer Dokumentation

Die einzelnen Merkmale des Projektunterrichts wurden von mir bisher praktisch gleichberechtigt behandelt. Eines der von mir vorrangig genannten Ziele der Unterrichtseinheit stellt jedoch die Selbständigkeit der Schüler bei der Erarbeitung der Lerninhalte dar, so daß sich eine Hervorhebung dieses Kriteriums anbietet.

Überprüft man die von mir gewählten einzelnen Projektphasen anhand dieses Merkmals (Vgl. Abb. 2), so ist festzustellen, daß die Selbständigkeit der Schüler lediglich in der Vorstellungsphase des Projekts gering ist. Dies hat vor allem den Grund, daß die von mir getroffenen Entscheidungen bezüglich des Lerninhalts und der Methoden in dieser Phase mit den Schülern besprochen werden, so daß der Unterricht als lehrerzentriert bezeichnet werden kann. In den folgenden Phasen der Untersuchung und Auswertung ist die Selbständigkeit der Schüler als hoch einzustufen, da sie hier die Lerninhalte mit Hilfe der in der ersten Phase vorgegebenen Methoden sowie zur Verfügung gestellten Arbeitsmittel selbständig erarbeiten. Die Phase der Beurteilung einer Sanierungskonzeption weist einen Rückgang der Selbständigkeit der Schüler auf, da sie hier zwar eine vorgestellte Sanierungskonzeption eigenständig beurteilen, der Lehrer jedoch im abschließenden Unterrichtsgespräch nicht völlig zurücktritt, sondern lenkend eingreift. Aufgrund der eigenständigen Zusammenfassung des Verlaufs und der Ergebnisse des durchgeführten Projekts durch die Schüler ist die Selbständigkeit in dieser abschließenden Phase wiederum als hoch einzustufen.

Abb. 2: Selbständigkeit der Schüler während der einzelnen Projektphasen



Insgesamt betrachtet ist die von mir gewählte Unterrichtsform aufgrund der vorgenommenen Abänderungen des "klassischen" Projektschemas nicht als "reines" Projekt im Sinne von FREY (1991) zu bezeichnen. Dennoch ermöglicht die von mir gewählte Phaseneinteilung ein größtenteils selbständiges Arbeiten der Schüler in Verbindung mit einer klaren Zielorientierung des Unterrichts.

Aus der Wahl dieser Unterrichtsform ergibt sich, daß die unter 2.5 genannten Grobziele der Unterrichtseinheit nicht für einzelne Unterrichtsstunden, sondern für Projektphasen gelten. Wie der Gesamtübersicht über die Unterrichtseinheit zu entnehmen ist, sind diese allerdings z. T. mit Einzelstunden identisch.

## 2.8 Gesamtübersicht über die Unterrichtsreihe

| Stunde/<br>Datum                        | Stunden- bzw.<br>Projektphasenthema   | Großlernziel  | methodische und inhaltliche<br>Aspekte des Schwerpunkts   | Medien  | Lernzielsicherung/<br>Leistungskontrolle   |
|---|---|---|---|---|--|
| 1. Stunde<br>Freitag,<br>20.03.98       | Projektplan: Vorstellung des Unterrichtsvorhabens zur Gewässerbelastung Berlins               | Die Schüler kennen die Problemstellung der Gewässerbelastung Berlins sowie den vorgesehenen Ablauf der Gewässeruntersuchung am Teltowkanal mit den hierfür ausgewählten Parametern. | 1. Themenvorstellung an Karte zur Gewässerbelastung<br>2. Erläuterung der Vorproben mit Vorstellung des Erfassungsbogens (UG)<br>3. Gruppeneinteilung zur Untersuchung der chem. Parameter<br>4. Sicherheitshinweise (LV) | - OH-Folie Gewässerbelastung Berlins<br>- Erfassungsbogen   | - Erfassungsbogen  |
| 2. Stunde<br>Donnerstag,<br>26.03.98    | Projektdurchführung: Vorproben und Probenentnahme mit anschließender Auswertung der Vorproben | Die Schüler kennen ausgewählte äußere Kennzeichen einer Gewässerbelastung am Beispiel des Teltowkanal sowie Methoden der Vorprobenbestimmung und Probenentnahme.                    | 1. Vorprobenbestimmung in Einzelarbeit<br>2. Auswertung der Vorproben (UG)<br>3. Entnahme von Wasserproben durch Entnahmeteam   | - Erfassungsbogen<br>- Thermometer<br>- Sichttiefenmeßgerät<br>- Probenentnahmeflaschen<br>- Fotoapparat  | - Erfassungsbogen<br>- Dokumentation   |
| 3.-4. Stunde<br>Donnerstag,<br>26.03.98 | Projektdurchführung: Analyse der Wasserproben   | Die Schüler kennen Untersuchungsverfahren zur Bestimmung ausgewählter chemischer Parameter einer Gewässerbelastung sowie Methoden zur Ergebnisaufbereitung.                         | 1. Analyse der Proben an Untersuchungsstationen in Gruppenarbeit<br>2. Vorstellung der Ergebnisse mit Mittelwertbildung   | - Testsets zur Wasseranalyse (Vgl. Kap. 2.4.3)<br>- Anleitungen zur Testdurchführung<br>- Erfassungsbogen | - Erfassungsbogen<br>- Dokumentation   |
| 5. Stunde<br>27.03.98                   | Projektdurchführung: Auswertung der Meßergebnisse   | Die Schüler kennen die Ursachen und Folgen der Gewässerbelastung des Teltowkanals in bezug auf ausgewählte Parameter.   | 1. Auswertung der Analyseergebnisse in Gruppenarbeit<br>2. Vorbereitung von Vorträgen zu Ergebnissen der Auswertung   | - Erfassungsbogen<br>- Arbeitsbogen mit Materialanhang  | - OH- Folie Gewässergüte, Folgestunde<br>- Tafelbild, Folgestunde<br>- Dokumentation |
| 6. Stunde<br>02.04.98                   | Projektdurchführung: Auswertung der Meßergebnisse   | Die Schüler kennen die Ursachen und Folgen der Gewässerbelastung des Teltowkanals in bezug auf ausgewählte Parameter.   | 1. Vorträge der Auswertungsergebnisse durch die einzelnen Gruppen.<br>2. Erstellen einer graphischen Darstellung der Parameternetzung   | - OH-Folie Gewässergüte<br>- Tafel  | - OH-Folie Gewässergüte<br>- Tafelbild<br>- Dokumentation                            |
| 7. Stunde<br>02.04.98                   | Projektdurchführung: Zusammenfassende Beurteilung der Gewässergüte des Teltowkanals           | Die Schüler kennen die Gewässerbelastung des Teltowkanals als Problem eines Aufnahmegewässers, das durch dichtbesiedeltes und industriell genutztes Gebiet fließt.                  | 1. Erstellen einer Gesamtbeurteilung unter Berücksichtigung der Vernetzung der Parameter sowie der Hauptverursacher im UG   | - Tafel<br>- OH-Folie Gewässergüte  | - Tafelbild<br>- Dokumentation   |
| 7. Stunde<br>02.04.98                   | Projektabschluss: Beurteilung einer Sanierungskonzeption                                      | Die Schüler kennen den mit der Gewässerbelastung verbundenen Interessenkonflikt bei der Erstellung einer Sanierungskonzeption.  | 2. Diskussion einer Sanierungskonzeption  | - Text "Sanierungskonzeption"   | - Dokumentation  |
| 8. Stunde<br>03.04.98                   | Projektabschluss: Erstellung einer Dokumentation  | Die Schüler festigen ihre Kenntnisse über Verfahren zur Bestimmung der Gewässergüte, Ursachen und Folgen einer Belastung sowie Maßnahmen zur Verringerung der Belastung.            | 1. Schriftliche Zusammenfassung der Gruppenergebnisse, der Gesamtbeurteilung sowie der Lösungsmöglichkeiten<br>2. Darstellung des Untersuchungsablaufs anhand von Fotos   | - DIN A2 Papier<br>- Klebstoff<br>- Fotos<br>- Scheren  |  |

Anmerkung: Die Hervorhebungen kennzeichnen die unmittelbar aus dem methodischen Schwerpunkt hervorgehenden Projektphasen.



### **3 Realisation**

#### **3.1 Vorproben und Probenentnahme**

##### **3.1.1 Planungsüberlegungen**

Die Vorproben sowie die Probenentnahme bildet gewissermaßen den Grundstock für das Projekt der Gewässeruntersuchung. Die Schüler sollen sich hierbei direkt mit dem Untersuchungsobjekt vertraut machen, einige Basisuntersuchungen durchführen sowie äußere Kennzeichen einer Belastung kennenlernen. Zu diesem Zweck erhalten die Schüler einen von mir erstellten Erfassungsbogen, der mit ihnen während der Vorstellung des Projektplans besprochen worden ist. Auf dem ersten Teil dieses Bogens sind - neben dem Namen des Beobachters - Datum, Uhrzeit, Probenentnahmestelle, Luft- und Wassertemperatur, Sichttiefe, Wassergeruch und -farbe, Wetterzustand sowie sonstige Beobachtungen einzutragen. Zusätzlich ist die Fließgeschwindigkeit des Teltowkanals bereits vorgegeben, da eine exakte Messung vor Ort sehr aufwendig ist, und ich eine mögliche Schwimmermessung aufgrund des zu erwartenden Windeinflusses nicht für aussagekräftig halte. Diese Angabe hat somit lediglich statistische Bedeutung, da der Teltowkanal bereits in der Einführungsstunde als langsam fließendes Gewässer charakterisiert worden ist.

Der zweite Teil dieses Bogens enthält eine tabellarische Vorgabe zur Eintragung der Analyseergebnisse der chemischen Untersuchungen und ist daher erst später auszufüllen.

Vor Ort erhalten die Schüler vier wasserdichte Thermometer, mit deren Hilfe sie Wasser- und Lufttemperatur ermitteln sollen, sowie zwei Meßgeräte zur Feststellung der Sichttiefe. Somit können jeweils sechs Schüler gleichzeitig Messungen vornehmen, während die übrigen ihre weiteren Beobachtungen festhalten. Diese Arbeitsteilung soll es ermöglichen, daß jeder Schüler alle Vorproben einmal selbst durchführen kann. Zusätzlich sollen die Schüler, die ihre Beobachtungen bereits festgehalten haben, mit der Probenentnahme beginnen. Zu diesem Zweck werden 8 Entnahmeflaschen bereitgestellt, die mit einer Sicherheitsleine verbunden sind. Jeweils 4 Proben sollen an den beiden Entnahmestellen genommen werden.

Da die Vorproben, die als äußere Kennzeichen einer Belastung gelten (Sichttiefe, Wassergeruch und -farbe sowie sonstige Beobachtungen wie z. B. Schaumbildung), bereits in der ersten Stunde hinsichtlich ihrer Aussagekraft erläutert werden, entschloß ich mich, die Gruppe vor Ort um mich zu versammeln, um die Ergebnisse der Schülerbeobachtungen nach Abschluß der Untersuchungen zu besprechen. Mögliche Rückschlüsse auf eine Gewässerbelastung anhand dieser Vorproben sollen somit als Hypothesen dienen, die es in der folgenden Analyse beziehungsweise Auswertung zu überprüfen gilt. Da die übrigen festzuhaltenden Beobachtungen erst durch das

Inbezugsetzen zu den später zu ermittelten Konzentrationen der einzelnen Parameter ihre volle Aussagekraft erhalten (z. B. Temperatur in bezug zu Sauerstoffgehalt), soll auf sie in dieser Projektphase nicht näher eingegangen werden.

Um Meßfehler weitestgehend auszuschließen und sicherzustellen, daß alle Schüler ihre Untersuchungen mit einer identischen Datengrundlage fortsetzen, sollen die Ergebnisse nach der Rückkehr in die Schule verglichen und gegebenenfalls Mittelwerte gebildet werden.

Im Rahmen dieses Vergleiches der Meßwerte soll zudem der Einfluß des Kraftwerks Lichterfelde auf die Wassertemperatur deutlich werden, da die Temperatur sowohl stromaufwärts des Kraftwerks als auch direkt gegenüber gemessen werden soll (Vgl. Kap. 2.4.1).

Für die Durchführung der Vorproben und Probenentnahme veranschlage ich 60 Minuten einschließlich Hin- und Rückweg.

Aus Sicherheitsgründen sowie zur Vermeidung von Schäden an der Ufervegetation werden die Schüler vor Beginn der Exkursion angewiesen, sich keinesfalls alleine und ohne vorherige Absprache in den Uferbereich zu begeben.

Trotz der luftdichten Verschlüsse der Flaschen müssen die Schüler von mir aufgefordert werden, jedes Schwenken der Flaschen zu vermeiden, da aufgrund von Oxidationsvorgängen die Meßergebnisse verfälscht werden können.

Aus den dargestellten Überlegungen ergeben sich folgende **Feinziele** für die Phase der Vorproben und Probenentnahme:

Die Schüler ...

FZ 1: ... kennen Verfahren der Vorprobenbestimmung und können diese anwenden.

FZ 2: ... erläutern ihre Vermutungen über die Art und Ursache der Belastung des Teltowkanals, indem sie ausgewählte äußere Kennzeichen einer Belastung auswerten.

FZ 3: ... kennen Verfahren der Probenentnahme und können diese anwenden.

### 3.1.2 Verlaufsplanungen

#### 2. Stunde: Vorproben und Probenentnahme

| Zeit/Lernziel | Phase  | Geplantes Lehrerverhalten   | Erwartetes Schülerverhalten  | Aktionsform | Medien  |
|---------------|--|---|--|-------------|---|
| 20'<br>FZ 1   | Durchführung der Vorproben                     | L.: Führen Sie bitte in Einzelarbeit die Vorproben durch und halten Sie Ihre Ergebnisse auf den Erfassungsbögen fest!   | S. führen die Vorproben durch und halten ihre Ergebnisse auf den Erfassungsbögen fest.   | GA          | Erfassungsbogen<br>Thermometer<br>Sichttiefenmeßgerät |
| 15'<br>FZ 2   | Auswertung der Vorproben/<br>Hypothesenbildung | L.: Die Mitglieder jeder Gruppe finden sich bitte zusammen und vergleichen ihre Ergebnisse, und bilden Mittelwerte!<br>L.: Die einzelnen Gruppen stellen bitte Ihre Untersuchungsergebnisse vor!<br>L.: Sammeln Sie bitte die Ergebnisse der übrigen Gruppen, und bilden Sie die arithmetischen Mittelwerte!<br>L.: Erläutern Sie, welchen Aufschluß die durchgeführten Untersuchungen über den Zustand des Teltowkanals geben! | S. tragen ihre Ergebnisse vor und vergleichen mit übrigen Gruppen.<br>S. bilden arithmetische Mittel aus den einzelnen Untersuchungsergebnissen.<br>S. erläutern: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sichttiefe ist sehr gering, grünliche Färbung des Wassers <math>\Rightarrow</math> organische Belastung, Algen <math>\Rightarrow</math> Düngereintrag.</li> <li>• Geruch ist neutral <math>\Rightarrow</math> kein Hinweis auf Belastung</li> <li>• Wassertemperatur ist am Kraftwerk nicht höher <math>\Rightarrow</math> keine Einleitung am Untersuchungstag</li> <li>• keine besonderen Beobachtungen (z.B. Schaumbildung) <math>\Rightarrow</math> keine Einleitungen am Untersuchungstag</li> </ul> | gUG         | Erfassungsbogen                                       |
| 10'<br>FZ 3   | Probenentnahme                                 | L.: Jede Gruppe entnimmt nun bitte mit Hilfe der bereitgestellten Flaschen eine Wasserprobe!  | S. entnehmen gruppenweise Wasserproben.  | GA          | Probenentnahmeflaschen                                |

#### 3./4. Stunde: Probenanalyse

| Zeit/Lernziel           | Phase              | Geplantes Lehrerverhalten   | Erwartetes Schülerverhalten  | Aktionsform          | Medien  |
|-------------------------|--------------------|---|--|----------------------|---|
| ca. 50'<br>FZ 1<br>FZ 2 | Analyse der Proben | L.: Führen Sie nun die einzelnen Untersuchungen in Ihren Gruppen an den jeweiligen Teststationen wie beim Zirkeltraining im Sportunterricht durch! Nehmen Sie Ihre Wasserprobe bitte immer mit, und befolgen Sie die Gebrauchsanweisungen der Tests genau! Ihre Ergebnisse tragen Sie in die Erfassungsbögen ein! Wartezeiten überbrücken Sie dadurch, daß Sie die Ergebnisse der übrigen Gruppen auf Ihren Erfassungsbögen festhalten und am Ende der Untersuchungen Mittelwerte bilden! | S. bestimmen die Konzentrationen bzw. Werte der Parameter Sauerstoff, Gesamthärte, pH-Wert, Nitrit, Nitrat, Ammonium, Phosphat und Schwefelwasserstoff mit Hilfe der einzelnen Testsets. | Stationslernen<br>GA | Testsets<br>Gebrauchsanleitungen<br>Erfassungsbogen |

### 3.1.3 Materialien Erfassungsbogen Wasseruntersuchung Teltowkanal

|                  |                 |                |
|------------------|-----------------|----------------|
| Beobachter: 11.4 | Datum: 26.03.98 | Uhrzeit: 13.00 |
|------------------|-----------------|----------------|

|  |
|--|
| Probeentnahmestelle: Teltowkanal an der Emil-Schulz-Brücke |
|--|

|                       |                           |                   |
|-----------------------|---------------------------|-------------------|
| Lufttemperatur: 10° C | Wassertemperatur: 6,5 ° C | Sichttiefe: 55 cm |
|-----------------------|---------------------------|-------------------|

|                     |                                 |                               |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Wassergeschmack: -- | Wasserfarbe: olivgrün bis braun | Fließgeschwindigkeit: 16 cm/s |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| Wetter: sonnig, mäßiger Wind | Sonstige Beobachtungen: ---- |
|------------------------------|------------------------------|

|  | Probe 1 | Probe 2 | Probe 3 | Probe 4 | Probe 5 | Probe 6 | Probe 7 | Probe 8 | Ergebnis        |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| ph-Wert                                | 8,5     | 8,5     | 8       | 8       | 7,5     | 6,5     | 7,5     | 8       | <b>8,0</b>      |
| Sauerstoff (O <sub>2</sub> )           | 11      | 12,5    | 14      | 14      | 14      | 9,5     | 11      | 11      | <b>12 mg/l</b>  |
| Gesamthärte                            | 21      | 14,5    | 14      | 13      | 13      | 12      | 14      | 14      | <b>13 °d</b>    |
| Nitrit (NO <sub>2</sub> )              | 0,5     | 0,02    | 0,1     | 0,1     | 0,1     | 0,1     | 0,3     | 0,3     | <b>0,2 mg/l</b> |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> )              | 10      | 10      | 8       | 10      | 9       | 10      | 10      | 9       | <b>9,5 mg/l</b> |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> )            | 10      | 10      | 10      | 3       | 8       | 3       | 8       | 8       | <b>7,5 mg/l</b> |
| Phosphat (PO <sub>4</sub> )            | 0,5     | 0,5     | 0,5     | 0,5     | 0,5     | 0,5     | 0,25    |         | <b>0,5 mg/l</b> |
| Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S) | --      | --      | --      | --      |         |         |         |         | -- mg/l         |

### 3.1.4 Durchführung

Bereits zu Beginn der Exkursion schienen alle Schüler hochmotiviert, die Untersuchung durchzuführen, so daß die Probenentnahmestellen zügig erreicht wurden. Vor Ort wurde sofort mit den Messungen begonnen, wobei besonders das selbstkon-struierte Sichttiefenmeßgerät das Interesse weckte. Die Vorproben verliefen praktisch problemlos, und alle Schüler führten jede Messung an beiden Probenentnahmestellen einmal durch. Einzig die Wassertemperaturmessung bereitete einigen Schülern Probleme, da sie die Skala schlecht erkennen konnten. Zudem gaben zwei Thermometer trotz meiner vorherigen Überprüfung bei gleicher Meßdauer am gleichen Meßpunkt unterschiedliche Werte wieder.

Die Auswertung der Ergebnisse der Sichttiefenmessung verlief problemlos. Aus der sehr geringen Sichttiefe von nur 55 cm schlossen die Schüler sofort auf ein verstärktes Algenwachstum. Diese Vermutung wurde zusätzlich anhand der stark grünlichen Gewässerfärbung untermauert. In diesem Zusammenhang wiesen einige Schüler auch auf die Möglichkeit einer Verunreinigung durch wachstumfördernde Stoffe hin, die für das verstärkte Pflanzenwachstum verantwortlich sein könnten. Die Geruchsprobe lieferte leider kein verwertbares Ergebnis. Sonstige Beobachtungen wie Schwimmfracht oder Schaumbildung wurden am Untersuchungstag ebenfalls nicht gemacht, so daß hier lediglich die Vermutung aufgestellt werden konnte, daß am Untersuchungstag keine Kraftwerkseinleitungen stattgefunden hatten. Von einigen Schülern wurde allerdings während des Auswertungsgesprächs ausdrücklich darauf hingewiesen, daß sie eine verstärkte Schaumbildung am Kraftwerk Lichterfelde besonders im Sommer schon des öfteren wahrgenommen hätten.

Die Zusammenfassung der Meßergebnisse ergab insgesamt ähnliche Werte. Die Temperaturangaben zu den jeweiligen Meßpunkten differierten um höchstens 2 °C, während die Sichttiefe bei allen Messungen bei 55 cm lag. Die Bildung der Mittelwerte verlief zügig, wobei ich die Messungen an beiden Entnahmepunkten zusammenfassen ließ, da sich die Meßwerte nicht signifikant unterschieden. Ein Einfluß des Kraftwerks Lichterfelde war somit nicht nachweisbar, jedoch gaben zwei Schüler zu bedenken, daß der Bereich um das Kraftwerk herum auch bei starkem Frost bisher immer eisfrei gewesen sei. Daraus wurde im Unterrichtsgespräch geschlossen, daß die durchgeführten Messungen entweder ungenau gewesen seien oder am Untersuchungstag keine gravierenden Einleitungen stattgefunden hätten.

Die Entnahme der Proben erfolgte ebenfalls in zufriedenstellender Weise, jedoch kamen die Schüler erst nach der Bildung eines furchtlosen Entnahmeteams zügig voran, da sie die Flaschen zur vollständigen Befüllung unter Wasser drücken mußten und dabei mit dem Teltowkanalwasser in Berührung kamen.

Problematisch gestaltete sich der Transport der Probenflaschen zurück in die Schule, da nur wenige Schüler diszipliniert genug waren, ein gedankenloses Schütteln zu vermeiden.

### **3.1.5 Analyse**

Eine zusammenfassende Betrachtung der Vorproben und Probenentnahme zeigt, daß die Untersuchungen entsprechend der Planung durchgeführt und die Ergebnisse der Vorproben besprochen werden konnten, so daß diese auch ihre Funktion innerhalb der Projektphase zum Erreichen des Groblernzieles erfüllten.

Unter methodischen Gesichtspunkten betrachtet, war die Auswahl der Vorproben sinnvoll, da die Schüler einige äußere Kennzeichen einer Belastung am Beispiel des Teltowkanals feststellen konnten. Zusätzlich motivierte die Untersuchung mit den im Verlauf aufgestellten Vermutungen die Schüler, das Wasser genauer zu untersuchen, um "handfeste" Ergebnisse zu erhalten. Auch schien es erwartungsgemäß allen Schülern Spaß zu machen, das Gewässer selbständig zu untersuchen, wobei besonders auch die Vorfreude auf die folgende eigenständige Analyse der Proben spürbar wurde.

Problematisch bei der Untersuchung war jedoch, daß kein Wassergeruch festgestellt wurde und keine besonderen Beobachtungen gemacht werden konnten. Dies bedeutete, daß die Untersuchung des Geruchs lediglich den Schluß zuließ, daß dieses Kennzeichen am Untersuchungstag keine Rückschlüsse auf eine Belastung ermöglichte. Die damit verbundene Gefahr, daß bei den Schülern die Meinung entsteht, die Verschmutzung sei nicht sonderlich ernst zu nehmen, bestand somit zwar, jedoch kamen aufgrund der Ergebnisse der übrigen Untersuchungen keine derartigen Gedanken auf. Gleiches gilt für die besonderen Beobachtungen, wobei die Schüler hierbei - wie bereits erwähnt - sofort von selbst auf ihre Vorerfahrungen zurückgriffen. Es bleibt somit festzuhalten, daß die Vorproben dazu geeignet waren, Hypothesen aufzustellen und damit den Anstoß zu einer genaueren Untersuchung zu bilden.

Das selbständige Durchführen der Vorproben durch jeden Schüler ermöglichte es, daß alle Schüler die grundlegende Arbeitsweise bei einer Gewässeruntersuchung durch eigene praktische Erfahrung kennenlernten. Hierbei erwies sich der Erfassungsbogen als besonders hilfreich, da bei den Schülern verstärkt das Gefühl aufkam, daß sie wissenschaftlich arbeiteten und somit alle Vorproben äußerst gewissenhaft durchgeführt wurden. Als ein weiterer Vorteil dieser Vorgehensweise kann die auf diese Weise entstandene große Datenmenge gelten, da diese es ermöglichte, verlässliche Mittelwerte (für den entsprechenden Beobachtungszeitraum) zu bilden, so daß die Schüler eine häufige Wiederholung der Messungen als Voraussetzung für eine verlässliche Untersuchung erkannten.

Die Anzahl und Qualität der Meßgeräte ermöglichte eine Weiterarbeit. Dies lag vor allem am disziplinierten Abwechseln der Schüler bei den Messungen.

Die Probenentnahme verlief ebenfalls der Planung sowie den zur Verfügung stehenden Geräten entsprechend.

## **3.2 Analyse der Wasserproben**

### **3.2.1 Planungsüberlegungen**

Unmittelbar nach der Rückkehr in die Schule sollen die entnommenen Wasserproben analysiert werden. Dies liegt vor allem darin begründet, daß die Proben nicht lange gelagert werden können, ohne daß die Ergebnisse verfälscht werden, da praktisch alle Parameter durch die Reaktion mit dem Luftsauerstoff beeinflußt werden.

Aufgrund der noch recht kühlen Jahreszeit und um genaue Messungen durchführen zu können, entschied ich mich, die Analyse der Proben in einem Biologie-Fachraum durchführen zu lassen. Bei schönem Wetter wäre es zwar grundsätzlich möglich, die Analyse direkt vor Ort durchzuführen, jedoch spricht vor allem die Schwierigkeit der umweltgerechten Entsorgung der Testchemikalien dagegen. Zudem ist es bei diesen Untersuchungen mit Chemikalien wünschenswert, wenn ein Wasseranschluß vorhanden ist. Dies war auch der Grund für die Wahl des Biologieraums, der mit acht Untersuchungstischen sowie vier Wasseranschlüssen ausgestattet ist.

Für die Analyse soll auf jedem der acht Tische ein Testset zur Untersuchung eines Parameters aufgebaut werden, so daß die Tische somit als Untersuchungsstationen für die acht durchzuführenden Bestimmungen dienen können. An diesen Tischen sollen sich die bereits während der ersten Stunde gebildeten acht Gruppen zusammenfinden. Jede Gruppe soll den Inhalt "ihrer" Probenflasche nacheinander an den einzelnen Stationen untersuchen. Diese Organisationsform liefert im Idealfall acht Untersuchungsergebnisse für jeden zu untersuchenden Stoff, um etwaige Meßfehler durch eine anschließende Mittelwertbildung relativieren zu können. Zusätzlich sollen sich die Schüler auf diese Weise mit allen acht Untersuchungsverfahren vertraut machen. Zudem sind die Untersuchungsverfahren unterschiedlich aufwendig, so daß vermieden werden soll, daß eine Gruppe nur eine, in ihren Augen möglicherweise langweilige, Untersuchung durchführen muß.

Für die Durchführung der Untersuchungen werden an jeder Station detaillierte bebilderte Anweisungen zur Anwendung der einzelnen Testchemikalien bzw. -materialien ausgelegt, die es den Schülern ermöglichen sollen, selbständig zu arbeiten.

Die Ergebnisse der einzelnen Test sollen auf dem bereits erwähnten zweiten Teil der Erfassungsbögen festgehalten werden.

### Anleitung zur Testdurchführung (Beispiel) nach TETRA WERKE (1998)

**Wichtig:** Bei der Testdurchführung nicht essen oder trinken! Chemikalien dürfen auf keinen Fall verschluckt werden! Berührung mit der Haut oder Augenkontakt vermeiden, gegebenenfalls ist mit viel Wasser auszuspülen!  
Probeglas niemals mit Spülmittel reinigen! Vor jedem Test Probeglas mindestens einmal mit der zu testenden Wasserprobe spülen!

#### Station 2: Sauerstoff

1. Küvette bis zur 15 ml Markierung mit Wasser füllen.
2. Tropfflasche mit **Lösung 1** senkrecht über die Küvette halten und **5 Tropfen** hineingeben.
3. Tropfflasche mit **Lösung 2** senkrecht über die Küvette halten und **5 Tropfen** hineingeben.
4. **Sofort** die Küvette mit Deckel verschließen und zur Durchmischung **1 x um 180°** drehen.
5. Es entsteht ein Niederschlag (feine, ungelöste Teilchen, die die Flüssigkeit eintrüben). Die Küvette **30 Sekunden** stehen lassen.
6. Küvette wieder öffnen und Tropfflasche mit **Lösung 3** senkrecht über die Küvette halten und **5 Tropfen** hineingeben.
7. **Sofort** Küvette mit Deckel wieder verschließen und **2 x um 180°** drehen. Dabei löst sich der Niederschlag und es entsteht eine rot-violette Färbung.
8. Färbung mit Farbskala vergleichen und Meßwert ermitteln.

Um auftretende Wartezeiten zu überbrücken, sollen die Schüler bereits während der Analyse ihre ermittelten Werte den anderen Gruppen mitteilen, um anschließend Mittelwerte bilden zu können, die in die dafür vorgesehene letzte Spalte der Erfassungsbögen eingetragen werden sollen.

Für die Analyse der Wasserproben veranschlagte ich ca. 50 Minuten. Der zeitliche Rahmen für die Entnahme und Analyse der Wasserproben sollte daher drei zusammenhängende Schulstunden umfassen. Aus diesem Grund verlegte ich, nach Absprache mit den Schülern und dem Stundenplankoordinator, die Randstunde am Freitag auf die achte Stunde am Donnerstag.

Die für den Umgang mit den Chemikalien in den Gebrauchsanweisungen der einzelnen Firmen angegebenen Sicherheitshinweise sind auf den Anweisungsbögen vermerkt und werden zu Beginn der Analysen mit den Schülern besprochen.

Aus den dargestellten Überlegungen ergeben sich für die Analysephase folgende **Feinziele:**

Die Schüler ...

FZ 1: ... lernen verschiedene Schnelltests zur Bestimmung ausgewählter chemischer Parameter kennen, indem sie die Konzentrationen bzw. Werte der Parameter mit Hilfe der Schnelltests selbst bestimmen.

FZ 2: ... lernen Methoden der Ergebnisaufbereitung kennen.

### **3.2.2 Durchführung**

Nach der Rückkehr in die Schule begann die Analyse der Wasserproben planungsgemäß. Da einige Schüler fehlten, mußten die Analysen allerdings in kleineren Gruppen, die aus mindestens zwei Schülern bestanden, durchgeführt werden.

Nachdem ich den Schülern die Organisationsform erläutert hatte, gingen die Tests relativ zügig vonstatten. Da einige Tests etwas länger als die anderen dauerten, mußten die Schüler teilweise eine kurze Wartezeit von bis zu 5 Minuten überbrücken, die nicht ausschließlich zum Austausch der Ergebnisse genutzt wurde. Insgesamt konnten während der Unterrichtszeit nicht alle Gruppen alle Tests einmal durchführen. Während dies lediglich vier Gruppen gelang, hatten drei Gruppen sieben Tests und eine Gruppe nur sechs Tests durchgeführt.

Bei der Testdurchführung erfreuten sich die Tests, bei denen verschiedene Titrierlösungen miteinander vermischt werden mußten, besonderer Beliebtheit. Im Gegensatz dazu war der Schwefelwasserstoffnachweis für die Schüler relativ schnell uninteressant, da die ersten Gruppen trotz intensiver Bemühungen eine Belastung nicht nachweisen konnten. Schwierigkeiten bereitete den Schülern anfangs das Einfüllen der vorgeschriebenen Wassermenge in die Probegefäße. Das Vergleichen der Farben der

Lösungen mit den Farbtafeln fiel einigen Schülern ebenfalls nicht leicht, so daß auch Mitschüler anderer Gruppen bei den Farbvergleichen zu Rate gezogen wurden.

Die Schüler arbeiteten trotz der fortgeschrittenen Unterrichtszeit konzentriert und - wie die Ergebnisse zeigten - auch relativ sorgfältig (Vgl. Erfassungsbogen).

Aufgrund der ausreichenden Anzahl von Meßergebnissen gelang es am Ende der Unterrichtszeit ohne Schwierigkeiten nach dem Zusammentragen der Werte, der Qualität der Tests entsprechend verlässliche Endergebnisse in Form von arithmetischen Mittelwerten zu bilden.

### **3.2.3 Analyse**

Insgesamt betrachtet kann die Analyse der Wasserproben als erfolgreich bezeichnet werden. Das Groblernziel der Phase wurde planungsgemäß erreicht, und die Meßergebnisse können, wie ein Vergleich mit den offiziellen Angaben (Vgl. Tab. 3) zeigt, als verlässlich gelten. Die Ergebnisse der Wasseranalyse waren somit dazu geeignet, die Grundlage für eine der Planung entsprechende Auswertung zu bilden.

Die Auswahl der Parameter kann in bezug auf die Analysephase insgesamt als gelungen bezeichnet werden, auch wenn der Schwefelwasserstofftest aufgrund der Nichtnachweisbarkeit einigen Schülern überflüssig erschien. Der Auswahl der zu untersuchenden Stoffe kam allerdings erst in der folgenden Auswertungsphase eine besondere Bedeutung zu.

Die Testdurchführung gelang allen Schülern praktisch ohne Hilfestellung, wobei hier sicherlich besonders die genaue Anleitung hilfreich war. Die Eigenständigkeit der Schüler bei der Testdurchführung war somit gewährleistet. Kritisch anzumerken bleibt allerdings, daß einige Schüler bei dem Farbvergleich Probleme hatten, was möglicherweise auch einen Einfluß auf die Ergebnisse hatte. Zudem lieferten die Testverfahren nur halbquantitative Ergebnisse, so daß den Schülern ein zum Teil großer Ermessensspielraum blieb. Dieser kann wiederum zu einem etwas sorglosen Umgang bei der Ergebnisfindung führen. Da allerdings alle Schüler daran interessiert schienen, eine starke Gewässerbelastung gewissermaßen "aufzudecken", kann davon ausgegangen werden, daß die Schüler die Ergebnisse wahrscheinlich nur in Richtung einer höheren Konzentration "beeinflusst" haben, was für den Fortgang des Unterrichts in keiner Weise nachteilig war. Des weiteren muß angemerkt werden, daß der von mir gesteckte zeitliche Rahmen nur die Durchführung von Schnelltests zuließ, deren Ergebnisse eine Weiterarbeit ermöglichten.

Das Arbeiten in Gruppen an einzelnen Stationen bei der Analyse ermöglichte den Schülern ein intensives Arbeiten, und alle Schüler hatten die Möglichkeit, selbst zu testen. Auch wenn nicht alle Gruppen alle Tests durchführen konnten, bekamen sie dennoch einen Einblick in mögliche Testverfahren bei der chemischen Wasseranalyse.

Die Organisationsform war zusätzlich dazu geeignet, eine Vielzahl von Ergebnissen zu erhalten, die für die Validität der Endergebnisse von Bedeutung waren. Als schwierig erwies sich der hohe Zeitaufwand dieser Organisationsform, da das gesteckte Ziel von acht Tests pro Gruppe nicht ganz erreicht wurde. Wie bereits deutlich gemacht, war dies jedoch weder für das Erreichen des Groblernziels noch für den Fortgang des Projekts von Bedeutung. Dennoch wäre die Alternative, daß jede Gruppe nur einen Stoff untersucht, denkbar. Ein Vorteil dieser Variante wäre die große Zeitersparnis, die jedoch auf Kosten der Validität der Ergebnisse gehen würde. Des Weiteren würden die Schüler in diesem Fall nur ein Testverfahren kennenlernen.

Zur Auswahl der Probeentnahmestelle kann in bezug auf die Analysephase lediglich festgehalten werden, daß die entnommenen Proben sich für eine chemische Untersuchung eignen und die Entnahmestelle innerhalb des vorgesehenen Zeitraumes besucht werden konnte.

### **3.3 Auswertung der Wasserproben**

#### **3.3.1 Planungsüberlegungen**

Der Auswertung der entnommenen und im Anschluß analysierten Wasserproben kommt besondere Bedeutung zu, da in dieser Phase anhand der ermittelten Werte Aussagen zur Gewässergüte gemacht werden sowie die Ursachen und Folgen der ermittelten Gewässerbelastung erarbeitet werden sollen. Damit stellt die Auswertung, auf der vorangegangenen Entnahme und chemischen Analyse der Proben aufbauend, die zentrale Phase des gesamten Projekts dar.

Für die Auswertung entschloß ich mich, die Schüler wieder - wie bei einem Projekt üblich - in Gruppen arbeiten zu lassen. Auf diese Weise sollen in relativ kurzer Zeit die Ursachen und Folgen der Belastung eines Gewässers durch verschiedene Stoffe erarbeitet werden können, um anschließend die Ergebnisse der einzelnen Gruppen zu einer Gesamtbeurteilung zusammenzufügen. Zudem war diese Unterrichtsform bereits bei der Auswahl der Parameter berücksichtigt worden. Hierbei bietet es sich an, die acht Gruppen beizubehalten, die bereits zu Beginn der Reihe gebildet wurden und erfolgreich die Analyse durchgeführt haben, so daß jede Gruppe sich mit der Auswertung eines der acht Parameter beschäftigen kann.

Um den Schülern wiederum ein selbständiges Arbeiten zu ermöglichen, erhält jede Gruppe einen Auswertungsbogen zu dem jeweiligen Parameter sowie einen Bogen mit verschiedenen graphisch aufbereiteten statistischen Angaben zum Teltowkanal.

Auf den Auswertungsbögen sind jeweils drei Arbeitsaufträge angegeben. Der erste lautet für alle Parameter gleich und fordert die Schüler über die Einordnung des Ergebnisses des jeweiligen Parameters in eine Gewässergüteklasse dazu auf, die Gewässergüte des Teltowkanals zu beurteilen. Zu diesem Zweck sind die einzelnen

Gewässergüteklassen für die jeweiligen Parameter (nach BARNDT UND BOHN, 1985) auf den Auswertungsbögen in Tabellenform angegeben. Da dies für den Parameter Sauerstoff nur möglich ist, wenn man den Sauerstoffsättigungsanteil ermittelt, erhält die entsprechende Auswertungsgruppe zusätzlich eine Tabelle der Sauerstoffsättigungskonzentration von Süßwasser bei verschiedenen Wassertemperaturen. Für die Ermittlung des Sauerstoffsättigungsanteils muß somit die im Rahmen der Vorproben ermittelte Wassertemperatur des Teltowkanals herangezogen werden. Der erste Arbeitsauftrag deutet von dem in der Lernzielformulierung verwendeten Verb *beurteilen* zwar auf den Anforderungsbereich III hin, die tatsächliche Tätigkeit des Zuordnens eines Ergebnisses entspricht jedoch eher dem Anforderungsbereich I, auch wenn die Ermittlung der Gewässergüteklasse erstmals eine Beurteilung der Gewässergüte zuläßt. Dennoch soll diese Zuordnung zu einer Gewässergüteklasse eine der Grundlagen für die an die Auswertung anschließende Gesamtbeurteilung, in deren Rahmen begründete Aussagen zur Gewässergüte gemacht werden sollen, bilden und damit zu dem Anforderungsbereich III hinführen.

Der zweite Arbeitsauftrag fordert die Schüler der Gruppen für die Parameter Gesamthärte, pH-Wert, Ammonium, Nitrit, Nitrat und Phosphat dazu auf, die Folgen der ermittelten Belastung für das Ökosystem, wie Eutrophierung, Schädigung der Flora und Fauna sowie Gesundheitsgefährdung des Menschen, zu erläutern. Da die Schüler dies nur leisten können, wenn sie über detaillierte Informationen verfügen, soll diese Erarbeitung anhand der Auswertung eines Textes auf dem Arbeitsbogen erfolgen. Diese Aufgabe entspricht somit insgesamt dem Anforderungsbereich II. Da die Ermittlung der Gewässergüteklasse keinen eindeutigen Rückschluß auf die Stärke der Schädigung zuläßt, müssen die Schüler diese selbst abschätzen, so daß diese Aufgabe ein zusätzliches Beurteilungselement enthält.

Die Meßergebnisse der Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffbestimmungen lassen keine Rückschlüsse auf eine Belastung zu, so daß für diese beiden Parameter eine andere Aufgabenstellung entwickelt werden muß. Der zweite Arbeitsauftrag für diese beiden Parameter zielt daher auf die Erläuterung möglicher Ursachen für die Nichtnachweisbarkeit einer Gewässerbelastung ab und entspricht ebenfalls dem Anforderungsbereich II. Als Arbeitsmaterialien sollen hierfür ebenfalls die entsprechenden Texte auf den Gruppenarbeitsbögen sowie die Angaben zu den Vorproben auf den Erfassungsbögen dienen.

Der dritte Arbeitsauftrag fordert die Schüler der Gruppen für die Parameter Ammonium, Nitrit, Nitrat, Phosphat und pH-Wert dazu auf, die Ursachen der Gewässerbelastung anhand der Abbildungen 1-3 auf dem zweiten Arbeitsbogen zu ermitteln. Mit Hilfe der Abbildung 1 sollen die Schüler erkennen, daß die Probenentnahmestellen flußabwärts aller relevanten Einleitungen liegen und somit der

Teltowkanal in diesem Bereich die stärkste Belastung aufweisen muß. Die Abbildung 2 soll den Schülern den hohen Einfluß der Klärwerke, die mit 34,8 % den größten Anteil an den jährlichen Einleitungsmengen haben, sowie den übermäßig hohen Kühlwasserverbrauch der Kraftwerke (69 % der Jahresabflußsumme) verdeutlichen. Zudem sollen die Schüler erkennen, daß die Regenwassereinleitungen gegenüber den Einleitungen des Gewerbes und der Industrie einen weit größeren Anteil an der Belastung haben. Anhand der Abbildung 3 sollen die Schüler den großen Einfluß der Klärwerkseinleitungen auf die Belastung durch Ammonium, Nitrit, Nitrat und Phosphat erläutern können. Hierbei soll deutlich werden, daß lediglich die Nitritbelastung der Klärwerkseinleitungen gering ist, während die Belastung durch alle übrigen Stoffe zum Teil extrem hoch ist.

Da die Ursache für die ermittelte Gesamthärte vor allem auf die Herkunft des Wassers zurückzuführen ist, wird den Schülern für die Ermittlung derselbigen eine Atlaskarte Norddeutschlands als Hilfsmittel angegeben.

Um den Schülern eine mögliche zukünftige Gefährdung deutlich zu machen und sie darauf hinzuweisen, daß sich die Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffverhältnisse im Sommer sehr schnell verschlechtern können, entschloß ich mich, den Schülern der Gruppen für diese Parameter die Erstellung eines Szenarios, das zu kritischen Verhältnissen führen könnte, zur dritten Aufgabe zu machen.

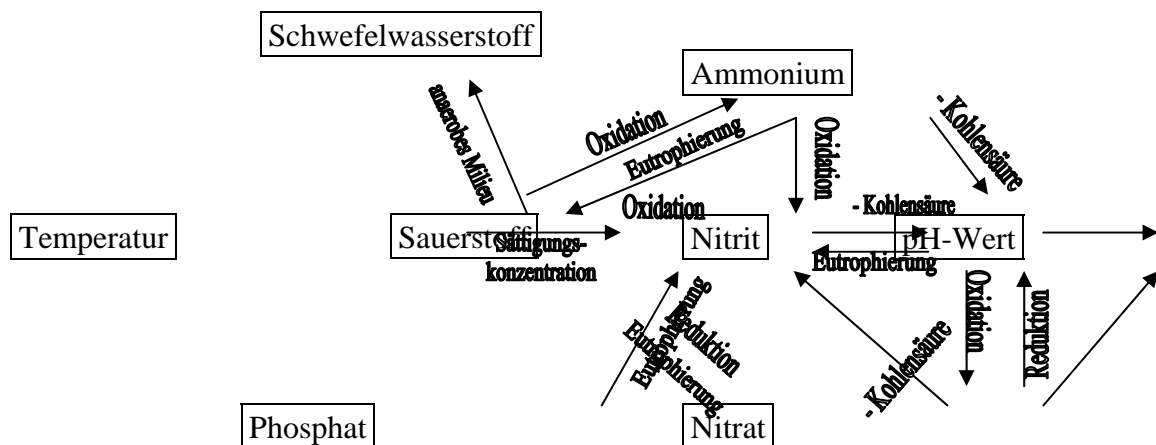
Für die Bearbeitung der genannten Arbeitsaufträge sollen den Schülern zunächst 30 Minuten Bearbeitungszeit gegeben werden, wobei eine mögliche Verlängerung von 5 Minuten bereits angedacht ist. Anschließend soll die Gruppe *Gesamthärte* ihre Ergebnisse vortragen und damit die erste Auswertungsstunde abschließen. Für die Entscheidung, diese Gruppe an den Anfang der Auswertungsvorträge zu stellen, waren zwei Gesichtspunkte ausschlaggebend: Zum einen muß diese Gruppe bei der Erläuterung der Ursachen nochmals die Herkunft des Teltowkanalwassers und damit den Verlauf der Zulaufgewässer Dahme und Spree erläutern, zum anderen ist die Vernetzung dieses Parameters mit den übrigen nur sehr undeutlich und schwer nachvollziehbar, so daß diese Gruppe bei der Auswertung etwas außen vor steht.

In der zweiten Auswertungsstunde sollen die übrigen Gruppen ihre Ergebnisse präsentieren, wobei am Anfang der Stunde die Schüler, die in der vorangegangenen Woche gefehlt haben, über den Stand der Untersuchung informiert werden sollen, so daß diese Phase als Wiederholung beziehungsweise Einstieg dienen soll.

Bereits vor dem Beginn der Vorträge soll den Schülern die Aufgabe gestellt werden, besonders auf die Vernetzung der einzelnen Parameter zu achten, um im Anschluß an die Vorträge gemeinsam eine graphische Darstellung dieser Vernetzung an der Tafel entwickeln zu können (Vgl. Abb. 3). Diese Vernetzung ist von besonderer Bedeutung, da so die einzelnen Gruppenergebnisse zu einem Gesamtbild der Gewässerbelastung

zusammengeführt werden und somit eine Gesamtbeurteilung, die das Zusammenspiel verschiedener Faktoren berücksichtigt, ermöglicht wird. Auf diese Weise soll den Schülern die Komplexität des Ökosystems deutlich werden, da bereits die Beeinflussung eines der Parameter auch alle übrigen Parameter direkt oder indirekt betrifft. Des Weiteren sollen die Schüler erkennen, daß Sauerstoff den zentralen Faktor jeder Gewässergütebeurteilung darstellt. Zusätzlich erhoffe ich mir von dieser Aufgabenstellung und der an jeden Vortrag anschließenden Weiterentwicklung des Tafelbildes eine erhöhte Aufmerksamkeit der Schüler und damit einhergehend ein besseres Verständnis für die Arbeit der jeweils anderen Gruppen. Es soll somit vermieden werden, daß sich Vortrag an Vortrag reiht und die Ergebnisse der Gruppen an den übrigen Schülern quasi "vorbeigehen". Nicht zuletzt soll die graphische Darstellung an der Tafel eine Sicherungsfunktion erfüllen und das Verständnis des sehr komplexen Sachverhaltes erleichtern.

Abb. 3: Geplantes Tafelbild *Vernetzung der untersuchten Parameter*



Zur Vorbereitung der anschließenden Gesamtbeurteilung sowie zur Information der übrigen Schüler sollen die einzelnen Gruppen das Ergebnis ihrer Gewässergüteklassenermittlung in eine auf OH-Folie vorliegende tabellarische Gesamtaufstellung aller Parameter eintragen.

Sich ergebende Verständnis- bzw. Zwischenfragen sollen nach jedem Vortrag geklärt werden, wobei die xxx Schüler mit den besonders guten Chemiekenntnissen als Experten fungieren sollen, so daß ich lediglich zur Erstellung der Grafik sowie bei Unstimmigkeiten in das Gespräch eingreifen muß.

Um die Auswertung der Meßergebnisse abzuschließen, schließt sich in der Folgestunde (7. Std.) die Gesamtbeurteilung der Gewässergüte an. In dieser Projektphase sollen die Schüler zunächst die Gewässergüte auf der Grundlage der Vernetzung der Parameter

beurteilen, bevor die Hauptverursacher der Belastung zusammengefaßt und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Aus den dargestellten Überlegungen ergeben sich für die Auswertung folgende

**Feinziele:**

5./6. Stunde:

Die Schüler ...

FZ 1: ... beurteilen die Gewässergüte des Teltowkanals in bezug auf einzelne ausgewählte Parameter, indem sie die Ergebnisse ihrer Wasserproben einer Gewässergütekategorie zuordnen.

FZ 2: ... erläutern mögliche Folgen der ermittelten Belastungen (pH-Wert, Nitrit, Nitrat, Phosphat) für das Ökosystem.

FZ 3: ... erläutern anhand von drei Abbildungen mögliche Ursachen für die ermittelten Meßwerte.

FZ 4: ... erklären eine mögliche jahreszeitlich bzw. witterungsbedingte Verschlechterung des Gewässerzustandes, indem sie mit Hilfe eines Textes ein Szenario aufstellen, das zu kritischen Sauerstoffverhältnissen bzw. zu einer Nachweisbarkeit von Schwefelwasserstoff führen könnte.

FZ 5: ... erkennen die Vernetzung der einzelnen Parameter, indem Sie eine graphische Darstellung erarbeiten und erläutern.

7. Stunde:

Die Schüler ...

FZ 1: ... beurteilen die derzeitige Gewässergüte des Teltowkanals unter Berücksichtigung der Vernetzung der untersuchten Parameter sowie der damit verbundenen zukünftigen Gefährdung.

FZ 2: ... erläutern die Hauptursachen der Belastung des Teltowkanals.

FZ 3: ... zeigen Möglichkeiten zur Verringerung der Belastung auf.

### 3.3.2 Verlaufsplanungen

#### 5. Stunde: Auswertung der Meßergebnisse

| Zeit/Lernziel                | Phase                                 | Geplantes Lehrerverhalten  | Erwartetes Schülerverhalten  | Aktionsform | Medien                |
|------------------------------|---------------------------------------|--|--|-------------|-----------------------|
| 5'<br>FZ 2<br>(s. Vorproben) | Einstieg/<br>Wiederholung             | L.: Fassen Sie bitte die bisherigen Ergebnisse unserer Untersuchung zusammen!  | S. skizzieren den bisherigen Verlauf der Untersuchung und fassen die Ergebnisse der Vorprobenauswertung zusammen.  | gUG         | Erfassungsbogen       |
| 30'<br>FZ 1-5                | Erarbeitung                           | L.: Nachdem wir unsere Gewässerproben auf verschiedene Inhaltsstoffe hin analysiert haben, müssen wir nun die Ergebnisse auswerten. Hierzu erhält jede Gruppe einen Auswertungsbogen mit einem Materialanhang zu einem der Parameter. Bearbeiten Sie bitte die Arbeitsaufträge auf dem AB und bereiten Sie einen kurzen Vortrag vor! | S. bearbeiten Arbeitsbögen in Gruppen und erstellen Vortrag.   | StA<br>GA   | Erfassungsbogen<br>AB |
| 10'<br>FZ 1-5                | Vorstellung der Auswertungsergebnisse | Die Gruppe <i>Gesamthärte</i> stellt bitte zuerst die Auswertung ihrer Ergebnisse vor!   | S. stellen ihre Auswertung vor:<br>1. Einordnung in Gewässergüteklasse.<br>2. Erläuterung der Ursachen der ermittelten Belastung bzw. Werte.<br>3. Erläuterung der Folgen der Belastung bzw. Erstellung eines Szenarios, das zu einer Belastung führen könnte. | SV<br>(gUG) | OHF                   |

#### 6. Stunde: Auswertung der Meßergebnisse

|               |                                       |   |   |             |              |
|---------------|---------------------------------------|---|---|-------------|--------------|
| 3'            | Einstieg/<br>Wiederholung             | L.: Könnten Sie bitte kurz Ihre Mitschüler, die in der letzten Woche gefehlt haben, über den Stand unserer Untersuchung informieren!  | S. stellen kurz den Stand der Auswertung der Gewässeruntersuchung dar.  | gUG         |              |
| 42'<br>FZ 1-5 | Vorstellung der Auswertungsergebnisse | L.: Die einzelnen Gruppen stellen bitte nun die Auswertung der Ergebnisse der von Ihnen untersuchten Parameter vor! Die Mitglieder der jeweils anderen Gruppen achten bitte besonders auf die Vernetzung der einzelnen Parameter, so daß wir nach jedem Vortrag eine graphische Darstellung der Vernetzung entwickeln können!<br>Eventuelle Fragen/Unstimmigkeiten werden nach jedem Vortrag geklärt. | S. stellen gruppenweise ihre Auswertung vor:<br>1. Einordnung in Gewässergüteklasse.<br>2. Erläuterung der Ursachen der ermittelten Belastung bzw. Werte.<br>3. Erläuterung der Folgen der Belastung bzw. Erstellung eines Szenarios, das zu einer Belastung führen könnte.<br><br>S. entwickeln eine graphische Darstellung der Vernetzung der untersuchten Parameter. | SV<br>(gUG) | OHF<br>Tafel |

### 7. Stunde: Zusammenfassende Beurteilung der Gewässergüte des Teltowkanals

| Zeit/Lernziel              | Phase                         | Geplantes Lehrerverhalten  | Erwartetes Schülerverhalten  | Aktionsform | Medien |
|----------------------------|-------------------------------|--|--|-------------|--------|
| 5'<br>FZ 5<br>(s. 6. Std.) | Sicherung/<br>Wiederholung    | L.: Erläutern Sie die an der Tafel festgehaltene Gesamtdarstellung der Vernetzung nochmals zusammenfassend!                                  | S. erläutern: Sauerstoffgehalt ist der zentrale Faktor. Er beeinflusst den Stickstoffkreislauf (Oxidation) und das Vorhandensein von Schwefelwasserstoff (Ausbildung eines Fäulnismilieus). Andererseits wird der Sauerstoffgehalt von der Temperatur, den Phosphaten (Eutrophierung) sowie dem Stickstoffkreislauf (Reduktion, Eutrophierung) beeinflusst. Zusätzlich gibt der pH-Wert Auskunft über das Vorhandensein von wachstumsfördernden Stoffen (Ammonium, Nitrit, Nitrat).  | SV          | Tafel  |
| 10'<br>FZ 1                | 1. Beurteilung                | L.: Nachdem die Ergebnisse unserer Untersuchung vorliegen, wie würden Sie den Zustand des Teltowkanalwassers insgesamt beurteilen?           | S.: Die Untersuchung hat ergeben, daß die Belastung des Teltowkanals in bezug auf die untersuchten Parameter sehr unterschiedlich ist. Die Beurteilung reicht von <i>praktisch unbelastet</i> bis <i>übermäßig belastet</i> . Insgesamt könnte man daher sagen, daß der Teltowkanal z. Zt. mäßig belastet ist. Dieser Zustand kann sich jedoch im Sommer ändern, wenn der Sauerstoffgehalt sinkt und es zusätzlich zu Starkregen kommt, der organisches Material zuführt. Dies hätte zur Folge, daß sich die Werte dramatisch verschlechtern und es zu einem "Umkippen" des Gewässers mit einer verstärkten Gefährdung der Umwelt kommen könnte. | gUG         | OHF    |
| 5'<br>FZ 2                 | Sicherung/<br>Zusammenfassung | L.: Nachdem wir alle Gruppen gehört haben und eine Gesamtbeurteilung vorgenommen haben, erläutern Sie bitte die Hauptursachen der Belastung! | S. erläutern:<br>1. Klärwerke<br>2. Regenwassereinleitungen<br>3. Kühlwassereinleitungen der Kraftwerke  | gUG         | Tafel  |
| 10'<br>FZ 3                | Erarbeitung                   | L.: Können Sie im Hinblick auf die genannten Ursachen der Belastung Lösungsmöglichkeiten aufzeigen?  | S. zeigen auf:<br>1. Klärwerke modernisieren<br>2. Regenwassereinleitungen verringern/reinigen<br>3. Kühlwassermengen drastisch reduzieren<br>4. künstliche Sauerstoffzufuhr<br>5. belastende Stoffe (z.B. Phosphate) verbieten  | gUG         | Tafel  |

### 3.3.3 Materialien

#### Arbeitsbogen: Auswertung der Meßergebnisse (Beispiel)

##### Gruppe 3: Sauerstoff

Sauerstoff ist im Lebensraum Wasser für alle Organismen lebenswichtig. Fische, Mikroorganismen und Wasserpflanzen benötigen Sauerstoff für die Atmung. Ein zu niedriger Sauerstoffgehalt und der daraus resultierende Sauerstoffmangel belastet auf Dauer die Fische und kann z.B. zu einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit führen. Auch die Mikroorganismen, die für den Schadstoffabbau sorgen, benötigen eine ausreichende Sauerstoffversorgung.

In Gegenwart ausreichender Mengen Sauerstoff sind auch Kohlendioxid, die Carbonate, Sulfate und Nitrate chemisch beständig. Dadurch stehen die genannten beständigen Verbindungen in biochemischen Reaktionen als Nährstoff für grüne Pflanzen zur Verfügung.

Sauerstoff liegt im Wasser wie in der Luft molekular vor. Der Eintrag von Luft in ein Oberflächengewässer erfolgt durch Turbulenzen, Wellenschlag, Gefällstrecken mit Hindernissen, Wehre und Rauschen oder direkt an der Oberfläche. Ein anderer Teil des Sauerstoffs im Wasser stammt als "Abfallprodukt" aus der Photosynthese der Pflanzen.

Organische Belastungen eines Gewässers führen zu einer Verringerung des Sauerstoffgehaltes, da der Abbau der abgestorbenen organischen Substanz Sauerstoff benötigt. Besonders kritische Sauerstoffverhältnisse können daher bei langsam fließenden Gewässern mit großen Regen- oder Mischwassereinleitungen nach starken Regenfällen entstehen, da dieses Einleitungswasser erhebliche Mengen an organischen Stoffen in das Gewässer einbringt.

Da die Löslichkeit aller Gase von der Temperatur abhängig ist, sinkt die Sättigungskonzentration (mg/l) von Sauerstoff mit steigender Temperatur. Der Sauerstoffverbrauch der Organismen wächst dagegen mit steigender Temperatur. In dieser Phase wird somit Sauerstoff als limitierender Faktor wirksam.

Aufgrund der Abhängigkeit des Sauerstoffgehalts von der Temperatur läßt die aktuell ermittelte Sauerstoffkonzentration nur bedingt Rückschlüsse auf die Qualität des Gewässers zu. Unterschreitet der Wert 4-5 mg/l, so können z. B. die meisten Fische nicht mehr existieren.

Dennoch läßt der Vergleich des aktuellen Werts mit dem theoretisch möglichen Sauerstoffsättigungswert eine Aussage zur Qualität des Gewässers zu. So läßt sich die Sauerstoffsättigung in % nach der Formel  $S = c(O_2) \times 100 / c_s$  berechnen, wobei  $c$  = gemessener Sauerstoffkonzentration und  $c_s$  = Sättigungswert (s. Tabelle 2).

Mit dem so gewonnenen Wert läßt sich die Qualität des Wassers einer biologischen Gewässergüte zuordnen.

Tab. 1: Biologische Gewässergüteklassen für Sauerstoff (O<sub>2</sub>) nach BARNDT u. BOHN (1985)

| Biologische Gewässergüte          | I<br>praktisch unbelastet | I-II             | II<br>mäßig belastet | II-III           | III<br>stark belastet | III-IV          | IV<br>übermäßig belastet |
|-----------------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|
| Sauerstoff-sättigungs-anteil in % | um 100                    | 85-95<br>105-110 | 70-85<br>110-125     | um 50<br>125-150 | 30-40<br>150-180      | um 20<br>um 200 | < 10<br>> 230            |

Tab. 2: Sauerstoffsättigungskonzentration von Süßwasser (entspricht 100%) nach TETRA WERKE (1998)

| Wasser-temperatur in °C | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| mg O <sub>2</sub> /l    | 14,16 | 13,40 | 13,05 | 12,70 | 12,37 | 12,06 | 11,76 | 11,47 | 11,19 | 10,92 | 10,67 | 10,43 | 10,20 | 9,98 | 9,76 | 9,56 | 9,37 | 9,18 | 9,01 | 8,84 |

##### Aufgaben:

1. Ordnen Sie das Ergebnis Ihrer Wasserprobe einer Gewässergüteklasse zu!
2. Erläutern Sie mögliche Ursachen für die ermittelten Werte!
3. Stellen Sie ein Szenario auf, das zu kritischen Sauerstoffverhältnissen führen könnte!

# Arbeitsbogen

## Gewässeruntersuchung Teltowkanal: Auswertung der Meßergebnisse

Abb. 1: Schematische Übersichtskarte des Teltowkanals

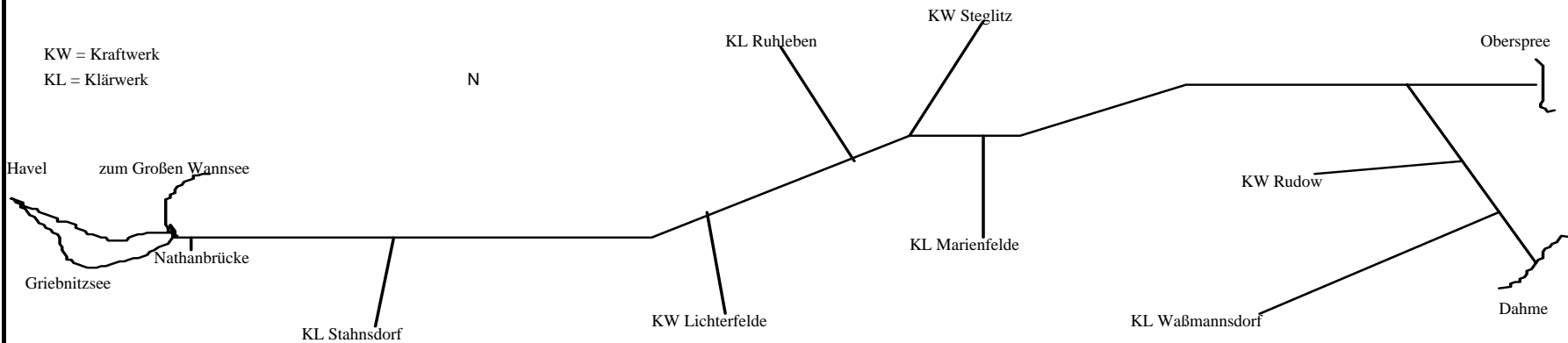


Abb. 2: Anteile der jährlichen Einleitungsmengen in % bezogen auf die Jahresabflußsumme des Teltowkanals an der Nathanbrücke ab 1985

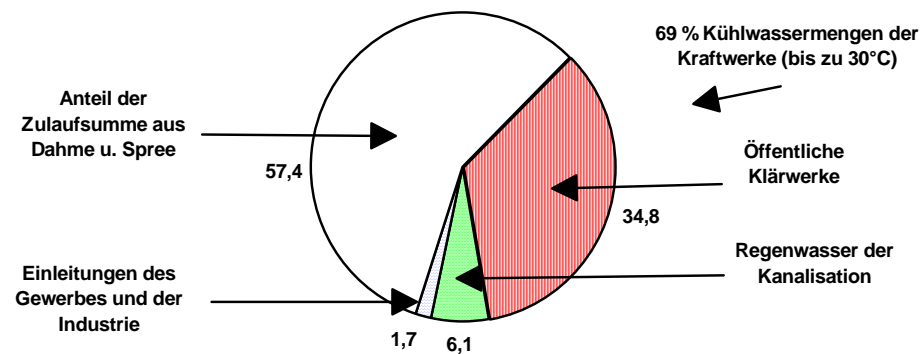
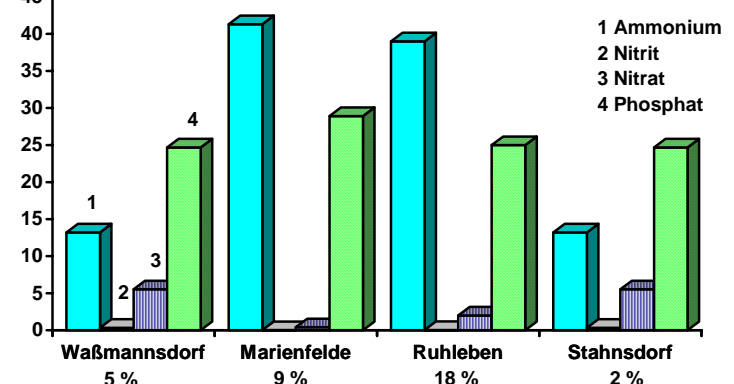


Abb. 3: Mittlere Frachten der Klärwerke in mg/l und Anteile an der Jahresabflußsumme des Teltowkanals in % ab 1985



Alle Angaben nach SENATOR FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ (1986).

### 3.3.4 Durchführung

Da die Auswertungsphase bereits einen Tag nach der Probenentnahme und -analyse stattfand, waren die Schüler hochmotiviert zu erfahren, welchen Grad der Verschmutzung der Teltowkanal aufweist. Während der Stillarbeitsphase arbeiteten die Schüler daher äußerst konzentriert und zielgerichtet. Die erste Aufgabe fiel allen Gruppen - außer der für den Sauerstoffgehalt zuständigen - leicht. Letztere hatte anfangs einige Schwierigkeiten bei der Errechnung des Sauerstoffsättigungsanteils, jedoch gelang den Schülern dies nach einer kurzen Hilfe meinerseits. Den Gruppen, die die Ursachen und Folgen der festgestellten Belastung (pH-Wert, Nitrit, Nitrat, Ammonium und Phosphat) ermitteln sollten, sowie der Gruppe *Gesamthärte*, waren die Arbeitsaufträge 2 und 3 verständlich, jedoch zeigte eine Nachfrage der Gruppe *pH-Wert*, daß teilweise die Schwierigkeit bestand, den Text nur im Hinblick auf den ermittelten leicht erhöhten pH-Wert auszuwerten, da im Text auch die Folgen eines zu niedrigen Wertes erläutert wurden. Lediglich die Gruppen *Sauerstoff* und *Schwefelwasserstoff* kamen anfangs mit der Aufgabenstellung nicht zurecht. Offensichtlich durch das gute Ergebnis der Untersuchung dieser beiden Parameter verunsichert, war ihnen zunächst unverständlich, daß sie die Ursachen für das positive Ergebnis ermitteln (Arbeitsauftrag 2) und anschließend ein Szenario aufstellen sollten, das zum Nachweis einer Belastung hinsichtlich dieser Parameter führen könnte (Arbeitsauftrag 3).

Da die Gruppen ihre Aufgaben innerhalb der vorgegebenen Zeit gelöst hatten, konnte planungsgemäß die Gruppe *Gesamthärte* ihre Ergebnisse noch in der gleichen Unterrichtsstunde referieren. Der Vortrag dieser Gruppe entsprach den Erwartungen und konnte bis zum Stundenende abgeschlossen werden.

Die an den Beginn der zweiten Auswertungsstunde gestellte kurze Darstellung des bisherigen Untersuchungsverlaufes durch einen Schüler stellte sich als äußerst sinnvoll heraus, da einige Schüler während der Probenentnahme und -analyse gefehlt hatten. Diese Information erleichterte es diesen Schülern, sich reibungslos in die jeweiligen Gruppen zu integrieren, und auch die übrigen Schüler wurden so auf den Ablauf der aktuellen Stunde eingestimmt.

Die Qualität der folgenden Gruppenvorträge war sehr unterschiedlich. Während die Gruppen *pH-Wert*, *Nitrit* und *Schwefelwasserstoff* als befriedigend bis ausreichend zu bezeichnende Ergebnisse vortrugen, waren die Erläuterungen der übrigen Gruppen unklar bis falsch. Die Schüler dieser Gruppen schienen nicht daran gewöhnt zu sein, ihre Ergebnisse vor der Klasse eigenständig vorzutragen, so daß ihre verständliche Nervosität zu relativ zusammenhanglosen Äußerungen führte. Dies wurde zusätzlich dadurch verstärkt, daß innerhalb der Gruppe keine klaren Vereinbarungen über die Struktur des Vortrages getroffen worden waren. Negativ wirkte sich hierbei auch das

mangelnde Verbalisierungsvermögen einiger Schüler aus. Die fachliche Richtigkeit der Erläuterungen ließ ebenfalls zu wünschen übrig. Besondere Probleme bereitete der Gruppe *Phosphat* die Auswertung der Abbildung 3, da die Schüler fälschlicherweise davon ausgegangen waren, daß es sich bei den hier dargestellten Konzentrationen um Angaben zum Teltowkanalwasser und nicht um Einleitungskonzentrationen handelte, so daß sie der Meinung waren, die Qualität des Teltowkanalwassers würde sich zur Mündung hin verbessern. Die übrigen Gruppen hatten mit der Auswertung der drei Abbildungen weniger Probleme, jedoch bereitete es ihnen - wie bereits erwähnt - Schwierigkeiten, ihre Ergebnisse in Worte zu fassen, so daß die Aussagen häufig ungenau blieben. Die unbefriedigendsten Ergebnisse lieferten die für den Sauerstoffgehalt zuständigen Schüler. Aufgrund der bereits genannten Präsentationsprobleme waren diese Schüler nicht in der Lage, ihre Ergebnisse zusammenhängend vorzutragen. Hinzu kam, daß es diesen Schülern nicht gelang, das Meßergebnis in bezug zu den im Auswertungstext getroffenen Aussagen sowie den Vorproben, wie Wassertemperatur und Wetterzustand, zu setzen. Des weiteren war es den Schülern trotz einer während der Stillarbeitsphase vorangegangenen zusätzlichen Erklärung meinerseits nicht möglich, den übrigen Schülern die Berechnung des Sauerstoffsättigungsanteils zu erklären.

Aus den genannten Schwierigkeiten in dieser Phase der Schülervorträge ergab sich für den Unterrichtsverlauf, daß ich wesentlich häufiger als vorgesehen lenkend in die Vorträge eingreifen mußte. Zudem fehlten alle Mitglieder der für die Nitratbelastung zuständigen Gruppe, unter ihnen die beiden "Chemie-Spezialisten", von denen ich mir durch die Klärung auftretender Unstimmigkeiten die Erfüllung einer Sonderfunktion gewünscht hatte. Letztere waren der Stunde unentschuldig ferngeblieben, so daß sie die in derartigen Fällen üblichen Konsequenzen tragen mußten, was von beiden kritiklos akzeptiert wurde. Mein Redeanteil während dieser Stunde wurde somit zusätzlich dadurch erhöht, daß die Auswertung der Nitratmessung nur im Unterrichtsgespräch mit Hilfe der Nitrit-Gruppe stattfinden konnte.

Eine weitere Folge dieser häufigen Eingriffe in die Schülervorträge war, daß die Entwicklung der Vernetzungsgrafik der einzelnen Parameter sehr gelenkt stattfand.

Die zusammenfassende Beurteilung der Gewässergüte in der Folgestunde verlief, wie auch die Hervorhebung der Ursachen der Belastung mit der anschließenden Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten, der Planung entsprechend.

### **3.3.5 Analyse**

Insgesamt betrachtet wurden die Lernziele dieser Unterrichts- bzw. Projektphase zwar erreicht, jedoch ging hier aufgrund des Hervortretens der Lehrerpersönlichkeit die gewünschte Selbständigkeit der Schüler weitestgehend verloren.

Die große Schwierigkeit der Schüler, ihre Ergebnisse frei vorzutragen, mag zu einem großen Teil an der mangelnden Gewöhnung an die gewählte Unterrichtsform gelegen haben, jedoch schien hierbei auch die erst kurz vor der Unterrichtsreihe veränderte Zusammensetzung der Klasse eine Rolle zu spielen, da ich derartige Unsicherheiten bei den Schülern im vorangegangenen Schuljahr nicht in diesem Maße hatte feststellen können. Eine mögliche Alternative zur Umgehung dieser Problematik würde die Änderung der Unterrichtsform während der Auswertungsphase darstellen, jedoch würde dies das selbständige Arbeiten von vornherein verhindern. Aus diesem Grund erachte ich dies als wenig sinnvoll, da die Schüler in jedem Fall an ein eigenständiges Erarbeiten von Lerninhalten in Kleingruppen herangeführt werden sollten. Auch wenn dies nicht im ersten Anlauf den gewünschten Erfolg bringt, so stellt die aufgezeigte Vorgehensweise eine praktische Übung für folgende ähnliche Unterrichtsformen dar. Dennoch müssen auch die Aufgabenstellung sowie die Materialauswahl hinsichtlich ihrer Eignung für die gewählte Unterrichtsform überprüft werden.

Wie bereits ausführlich erläutert, erwies sich die Aufgabenstellung als geeignet - die Schüler begannen zügig ohne größere Verständnisschwierigkeiten mit der Arbeit. Lediglich die Arbeitsaufträge 3 für die Gruppen *Sauerstoff* und *Schwefelwasserstoff* könnten so verändert werden, daß der den Schülern offensichtlich unbekannt Begriff Szenario nicht verwendet wird (Bsp.: Erläutern Sie die Faktoren, die zu kritischen Sauerstoffverhältnissen führen könnten). Da der Begriff Szenario in der Geographie jedoch häufiger gebraucht wird, stellt die mündliche Erläuterung der Bedeutung sicherlich die sinnvollere Alternative dar.

Bezüglich der Materialauswahl bleibt festzuhalten, daß sich sowohl die einzelnen Texte als auch die Abbildungen insgesamt als geeignet erwiesen, den Schülern das Bearbeiten der gestellten Aufgaben zu ermöglichen. Die Schwierigkeiten der Gruppen *pH-Wert* und *Phosphat* erachte ich nicht als besonders schwerwiegend, da bei der Arbeit in Kleingruppen Fehlinterpretationen auftreten können, auf die vom Lehrer - werden sie nicht bereits in der Stillarbeitsphase sichtbar - während der Vortragsphase hingewiesen werden muß. In diesem Zusammenhang bildet jedoch die Gruppe *Sauerstoff*, die offensichtlich bei der Bearbeitung aller Aufgaben Schwierigkeiten hatte, eine Ausnahme. Die Probleme dieser Gruppe mit der ersten Aufgabe mögen darauf zurückzuführen sein, daß die Schüler im Geographieunterricht keine Mathematikaufgaben erwarten, jedoch gehe ich davon aus, daß ein einfacher Dreisatz einen Schüler der 11. Klasse nicht überfordern dürfte. Dennoch wäre es hierbei denkbar, den gemessenen Sauerstoffgehalt als Grundlage für die Feststellung der Gewässergüte zu benutzen. In diesem Fall wäre eine Umrechnung nicht notwendig, jedoch wäre der Einfluß der Temperatur auf den Sauerstoffgehalt dann nicht nachweisbar. Die zweite und dritte Aufgabe überforderten die Schüler dieser Gruppe

ebenfalls, da sie nicht in der Lage waren, bei der Erklärung möglicher Ursachen der ermittelten Werte auch die Vorprobenergebnisse zu berücksichtigen, obwohl auf den Einfluß dieser Faktoren im Auswertungstext ausführlich eingegangen wird. Die erste mögliche Alternative wäre, für die Auswertung der Sauerstoffmessung, nach vorheriger Rücksprache mit den Fachlehrern, Schüler auszuwählen, die über gute Chemiebeziehungsweise Physikkenntnisse verfügen. Als zweite Alternative bestünde die Möglichkeit, die Auswertung dieses Parameters aus der Gruppenarbeit herauszulösen und die gesamte Lerngruppe an der Erarbeitung mit Hilfe des Textes zu beteiligen. Diese Erarbeitung könnte an den Anfang der Auswertungsphase gestellt werden, da Sauerstoff den zentralen Faktor der Gewässeruntersuchung darstellt. Zusätzlich könnte dies als Beispiel für die Verfahrensweise bei der selbständigen Auswertung der übrigen Ergebnisse dienen. Auf diese Weise könnten die aufgetretenen Schwierigkeiten verhindert werden, so daß der Lehrer in den folgenden Phasen des selbständigen Arbeitens wie gewünscht in den Hintergrund treten kann.

Eine weitere Alternative würde eine Reduzierung der Anzahl der chemischen Parameter, gekoppelt mit einer Änderung der Aufgabenstellung, darstellen. In diesem Fall könnten die Parameter, die durch ihre Düngewirkung einen direkten Einfluß auf den Sauerstoffgehalt des Wassers haben, also Nitrit, Nitrat, Phosphat und Ammonium, ausgewählt werden. Hinzu käme die Sauerstoffuntersuchung sowie die Bestimmung des pH-Werts, der als ein Indikator für das Pflanzenwachstum gelten kann und somit auf den Eintrag von wachstumsfördernden Stoffen hinweist. Diese sechs Parameter könnten der ursprünglichen Planung entsprechend analysiert werden, wobei die Gruppengröße auf 5 x 4 und 1 x 3 Schüler erweitert werden müßte. An den Anfang der Auswertung könnte dann, entsprechend der bereits erläuterten Alternative, die Auswertung des zentralen Faktors Sauerstoff durch die "Chemieexperten" gestellt werden. Hieran anschließend könnten die übrigen Gruppen ihre Auswertungen vortragen, wobei die ersten beiden Aufgaben dieser Gruppen darin bestünden, die Probe einer Güteklasse zuzuordnen und die Ursachen der ermittelten Werte zu erläutern. Die dritte Aufgabe würde darin bestehen, die möglichen Folgen der ermittelten Werte für den zentralen Faktor Sauerstoff zu erklären. Somit würde die Vernetzung der Parameter wesentlich vereinfacht und der Parameter Sauerstoff deutlich in den Mittelpunkt der Auswertung gestellt. Zusätzlich würde der Lerninhalt in bezug auf die Folgen der Belastung auf das Thema Eutrophierung reduziert. Eine Gefährdung des Menschen könnte in diesem Fall nicht thematisiert werden. Die Auswahl der Materialien könnte für diese Alternative beibehalten werden, lediglich die Texte müßten leicht geändert und auf die neue Aufgabenstellung abgestimmt werden.

### 3.4 Dokumentation

In der abschließenden Dokumentationsphase des Projekts sollen die Schüler ihre Ergebnisse in Form von Texten schriftlich festhalten und eine Ausstellung zu dem durchgeführten Projekt vorbereiten. In dieser Phase werden keine neuen Lerninhalte erarbeitet. Die Dokumentation hat daher nur eine Sicherungs- und Überprüfungsfunktion. Zusätzlich sollen die Schüler über die Veröffentlichung im schulischen Rahmen das Gefühl bekommen, daß ihre Arbeit über den Erdkundeunterricht hinaus von Bedeutung ist. Des weiteren lernen die Schüler auf diese Weise am selbst durchgeführten Beispiel den letzten Schritt jeder Umweltuntersuchung kennen.

Die in der Dokumentation festgehaltenen Ergebnisse ergeben sich aus den vorangegangenen Projektphasen, so daß eine differenzierte Planung und Analyse nicht erforderlich ist. Folgende Beobachtungen erscheinen mir dennoch von Bedeutung:

Trotz einer klaren Aufgabenverteilung - die jeweiligen Gruppen faßten ihre Ergebnisse zusammen, Schüler, die gefehlt hatten, erstellten eine Zusammenfassung des Projektablaufs sowie eine Gesamtbeurteilung der Gewässergüte - verlief diese Projektphase äußerst schleppend. Die Texte wiesen z. T. gravierende sprachliche Mängel auf, und erst nach mehrmaliger Aufforderung erhielt ich "getippte" Versionen. Da sich auch diese Versionen trotz mehrfacher Hinweise in der Form (Schriftart, Schriftgröße, Papierformat etc.) stark unterschieden, entschied ich mich, diese einzuscannen und in einem etwas platzsparenderen Format wieder auszudrucken. Zur inhaltlichen Qualität der Texte bleibt festzuhalten, daß diese sehr unterschiedlich war und damit die zuvor angeführten Beobachtungen bestätigt wurden.

Abb. 4: Textbeispiel der Dokumentation (Schülertext)

**Sauerstoff** ist im Lebensraum Wasser lebensnotwendig für alle Organismen. Auch Mikroorganismen, die für den Schadstoffabbau sorgen, benötigen Sauerstoff. Sauerstoff liegt im Wasser genauso wie in der Luft molekular vor, und Luft gelangt durch Turbulenzen, Wellenschlag, Gefällsstrecken mit Hindernissen, Wehre und Rauschen in ein Oberflächengewässer (oder direkt durch die Oberfläche). Ein weiterer Teil des Sauerstoffs im Wasser stammt als "Abfallprodukt" aus der Photosynthese der Pflanzen. Die Verringerung des Sauerstoffs in Gewässern kann durch organische Belastungen ausgelöst werden, die in langsam fließenden Gewässer mit großen Regen- und Mischwassereinleitungen nach starken Regenfällen entstehen. Die Löslichkeit aller Gase ist von der Temperatur abhängig. Da die Sättigungskonzentration (mg/l) von Sauerstoff mit steigender Temperatur abnimmt und der Sauerstoffverbrauch der Organismen dagegen wächst, ist bei höheren Temperaturen nur wenig gelöster Sauerstoff im Wasser vorhanden.

Am Tag der Messungen betrug der Sauerstoffsättigungsanteil 100 %! Das Wasser war praktisch unbelastet. Das gute Meßergebnis ist darauf zurückzuführen, daß die Wassertemperatur niedrig war. Außerdem gab es am Untersuchungstag möglicherweise keine Einleitungen von Kraftwerkswasser - es bildete sich auf der Wasseroberfläche auch kein Schaum. Die Sonne schien am Tag und Tage vor der Messung, was ausschließt, daß die Meßergebnisse durch Regenwasser beeinträchtigt worden sind. Das Wasser war in Bewegung, d.h., es fand eine gute Durchmischung mit dem Luftsauerstoff statt, die den Sauerstoffsättigungsanteil erhöhte. Ursachen, die zu kritischen Sauerstoffverhältnissen führen könnten, wären die Einleitungen von Abwasser der Industrie oder die Verschmutzung durch Müll, welches beides das Absterben der Tiere und Pflanzen im Gewässer zur Folge haben könnte. Es könnte keine Photosynthese mehr stattfinden, was bedeutet, daß es kaum noch Sauerstoff geben würde.

Nach Abschluß des Projekts beinhaltete die Dokumentation einen ausgefüllten Erfassungsbogen, eine tabellarische Übersicht der Gewässergüteklassen, eine Darstellung der Auswertung der einzelnen Parameter in Textform, eine Beschreibung der Testverfahren, eine Gesamtbeurteilung der Gewässergüte sowie eine Darstellung des Projektablaufs anhand von Fotos. Die Dokumentation wurde im Foyer der Lilienthal-Oberschule (1. Stock) ausgestellt.

### **3.5 Gesamtreflexion**

Die durchgeführte projektartige Unterrichtseinheit war von einer hohen Selbständigkeit bei der Erarbeitung unbekannter Sachverhalte gekennzeichnet. Die Schüler arbeiteten - mit Ausnahme der Dokumentationsphase - in allen Stunden motiviert und konzentriert. Einer der Gründe hierfür liegt in der Wahl des Themas beziehungsweise Raumbeispiels, da die Gewässerbelastung an einem Beispiel, das direkt vor ihrer Haustür liegt, nachgewiesen und thematisiert wurde. Es zeigte sich, daß gerade der Themenkomplex *Wasser als knappe Ressource* die Motivation der Schüler anregte. Als einen weiteren Grund sehe ich die Wahl der Methoden an, die es den Schülern ermöglichten, selbst tätig zu werden.

Am Beispiel des Teltowkanals ist den Schülern die Problematik der Gewässerbelastung mit ihren Ursachen und Folgen deutlich geworden. Die Frage, wie derartige Umweltprobleme gelöst werden können, wurde ebenfalls von den Schülern zumindest in Ansätzen erkannt. Inwieweit dies eine im affektiven Bereich angesiedelte Handlungsänderung hin zu einer weniger resignierten Sichtweise in bezug auf Handlungsmöglichkeiten bei der Verhinderung und Verminderung von Umweltschäden bewirkt hat, ist schwer zu beurteilen. Die rege Diskussion während der Beurteilung einer Sanierungskonzeption zeigte jedoch zumindest, daß sich die Schüler intensiv mit dieser Frage auseinandersetzten.

Auch der Aufbau des Projekts hat sicherlich die Motivation der Schüler positiv beeinflußt. Die logische Verknüpfung der einzelnen Projektphasen machte den Schülern den Sinn ihrer Arbeit deutlich, und die in den jeweiligen Stunden aufgeworfenen Fragen dienten als Ausgangspunkt für die folgenden Phasen. Zum Aufbau des Projekts kann kritisch angemerkt werden, daß die Erstellung des Projektplans von mir praktisch ohne die Mithilfe der Schüler erfolgte. Dies mögen einige Schüler als eine Art Bevormundung empfunden haben, die nicht recht zu der im weiteren Verlauf verlangten Selbständigkeit paßte. Die Schwierigkeiten bei der Auswertung der chemischen Bestimmungen bestätigten jedoch meine Einschätzung, daß den Schülern eine selbständige Herausarbeitung der inhaltlichen Schwerpunkte zu dem behandelten Themenkomplex nicht zugemutet werden kann. In diesem Zusammenhang bleibt

festzuhalten, daß die Fähigkeiten der Schüler, Informationen bzw. Sachverhalte selbständig zu bewerten, deutlich verbessert wurden.

Im Hinblick auf die eingangs beschriebenen Schwierigkeiten der Schüler beim Umgang mit geographischen Arbeitsmaterialien, insbesondere Tabellen und Graphiken, war ebenfalls eine deutliche Steigerung der Schülerleistungen festzustellen. Ich führe dies vor allem darauf zurück, daß die eigenständige Datengewinnung im Rahmen der Unterrichtsreihe dazu geeignet war, die Distanz der Schüler zu derartigen Materialien abzubauen.

Die Vernetzung der Lerninhalte mit Aspekten der Chemie und Biologie regte sicherlich einige Schüler an und weckte zum Teil auch deren Interesse für die jeweiligen Fächer, jedoch schienen einige Schüler durch diese Vernetzung überrascht und verunsichert.

Als besonderen Erfolg der Unterrichtseinheit sehe ich die deutliche Verbesserung der Lernatmosphäre an. Diese entspannte sich durch das intensive Zusammenarbeiten in Teams mit zunehmender Dauer des Projekts. Aus diesem Grund waren die abschließenden Diskussionen von wachsendem Respekt den Mitschülern gegenüber gekennzeichnet, und auch zuvor sehr zurückhaltene Schüler begannen, sich am Gespräch zu beteiligen. Es muß jedoch betont werden, daß diese Entwicklung nur ein erster Schritt war und die Integration lediglich beschleunigt wurde.

Insbesondere die Vorprobenbestimmung und Entnahme der Wasserproben machten den Schülern Spaß. Durch die originale Begegnung mit dem Raum wurde ein persönlicher Bezug zu dem zu untersuchenden Problem geschaffen, der besonders die Motivation zur genaueren Untersuchung der Gewässerbelastung erhöhte. Die selbständige Durchführung der einzelnen Bestimmungen durch jeden Schüler gab ihnen einen Einblick in die Methoden der Gewässeruntersuchung und machte ihnen deutlich, mit welchen relativ einfachen Mitteln eine Belastung bereits an den äußeren Kennzeichen erkannt werden kann und welche Rückschlüsse auf etwaige Ursachen diese Vorproben ermöglichen. In diesem Zusammenhang war die Anknüpfung an das Vorwissen der Schüler von besonderer Bedeutung, da einige der äußeren Kennzeichen, wie auch am Untersuchungstag, nicht immer vorhanden sind. Auf diese Weise konnten diesbezügliche, bereits zuvor gemachte Beobachtungen der Schüler sinnvoll miteinbezogen werden, um falsche Rückschlüsse zu vermeiden.

Der von mir konzipierte Erfassungsbogen diente nicht nur dem Festhalten der Ergebnisse, er war vielmehr während der Arbeit im Gelände auch eine hilfreiche Art von Arbeitsanweisung für die Schüler. Während der Kurzexkursion waren die Schüler somit immer über ihre Aufgabenstellung informiert.

Die Probenentnahme erwies sich aufgrund der relativ einfachen Hilfsmittel als schwierigster Teil der Exkursion. Dennoch gelang es jeder Gruppe, eine eigene Probe zu entnehmen, die dann als eigener "Besitz" betrachtet wurde.

Die Durchführung der chemischen Bestimmungen war ebenfalls eine der erfolgreichen Phasen des Projekts. Die Schüler waren hochmotiviert, eine Belastung zu ermitteln, und die Testverfahren eigneten sich für ein selbständiges Arbeiten der Schüler.

In der zentralen Auswertungsphase zeigte sich, daß die getroffenen Entscheidungen bezüglich der Probenentnahmestelle, der Parameter, der Testverfahren und der Arbeitsmaterialien grundsätzlich dazu geeignet waren, den Schülern eine Beurteilung der Gewässergüte zu ermöglichen. Die Grob- und Feinziele der einzelnen Phasen wurden erreicht, jedoch geschah dies nicht immer auf dem geplanten Weg. Während der Auswertung der Meßergebnisse wurden die Schwächen der Schüler im Umgang mit Tabellen und Graphiken besonders deutlich. Es kam zum Teil zu Fehlinterpretationen, die erst im Unterrichtsgespräch richtiggestellt werden konnten. Dennoch zeigten diese Gespräche, daß die Auswahl der Materialien den Schülern ein Erarbeiten der Lerninhalte ermöglichte. Als eine entscheidende Ursache für die Schwierigkeiten der Schüler sehe ich die mangelnde Gewöhnung an Unterrichtsformen an, in denen eine verstärkte Selbständigkeit von ihnen gefordert wird. Wie sich auch bei der Erstellung der Dokumentation zeigte, sind einige Schüler von einer ausgesprochenen Konsumhaltung geprägt. Ich sehe daher die gewählte Vorgehensweise als sinnvoll an, da die Schüler spätestens im Kurssystem diese Haltung ablegen müssen, um erfolgreich zu sein. Daß durch den durchgeführten Unterricht Lernfortschritte in dieser Hinsicht zu verzeichnen waren bzw. sind, zeigten die Ergebnisse der im Anschluß durchgeführten Unterrichtseinheit zum Thema *Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung*.

Im Zusammenhang mit den geschilderten Schwierigkeiten bei der Auswertung der Ergebnisse muß jedoch auch die inhaltliche Schwerpunktsetzung kritisch betrachtet werden. Der fächerübergreifende Aspekt des Schwerpunkts hat sicherlich die bereits erwähnten Vorteile, jedoch erscheinen die Lerninhalte einigen Schülern besonders durch die Vernetzung mit der Chemie zu komplex. Alternativen zur Auswahl der Parameter und einer damit einhergehenden Abänderung der Schwerpunktsetzung wurden bereits in Kapitel 3.3.5 ausführlich dargestellt. An dieser Stelle bleibt jedoch festzuhalten, daß ich mich, geht man von der gleichen Lerngruppe aus, für eine Reduzierung des inhaltlichen Schwerpunkts auf sechs Parameter entscheiden würde. Der Schwerpunkt würde in diesem Fall auf dem zentralen Faktor Sauerstoff liegen und die Zusammenführung der einzelnen Gruppenergebnisse würde wesentlich vereinfacht. Ich gehe davon aus, daß diese Alternative ein selbständigeres Arbeiten auch in der Auswertungsphase ermöglicht hätte.

Sollte ich allerdings die Gelegenheit erhalten, das hier dargestellte Projekt zu wiederholen, würde ich die Durchführung eines fächerübergreifenden Unterrichts in Form einer Zusammenarbeit mit Kollegen der Biologie und Chemie anstreben. Dies könnte im Rahmen eines Projekttages oder auch - einen guten Kontakt zu den Kollegen

vorausgesetzt - im "normalen" Unterricht erfolgen. Wie das Interesse einiger Kollegen an den Untersuchungsergebnissen und Erfahrungen zeigte, wäre eine derartige Vorgehensweise an der Lilienthal-Oberschule sicherlich möglich, so daß die einzelnen Aspekte der verschiedenen Fächer über eine Erweiterung des inhaltlichen Schwerpunkts wesentlich intensiver beleuchtet werden und den Schülern die Komplexität der Sachverhalte noch einsichtiger vermittelt werden kann.

## 4 Literatur

- **Barndt, Gerda u. Bohn, Bodo:** *Biologische und chemische Gütebestimmung von Fließgewässern*. Berlin: PZ, 1985.
- **Büttner, Rudolf:** *Die Bestimmung der Güte von Gewässern*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 3. Jg. (1992), Heft 15, S. 31-36.
- **Cuny, Karl-Heinz u. Weber, Walter (Hrsg.):** *Chemie - Welt der Stoffe*. Hannover: Schroedel, 1975.
- **Flasshaar, Petra u. Lindemann, Helmut:** *Schnelles Testen mit Hindernissen: Analytische Schnelltestverfahren im Chemieunterricht*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 3. Jg. (1992), Heft 15, S. 12-16.
- **Frey, Karl:** *Die Projektmethode*. Weinheim/Basel: Beltz Verlag, 1991.
- **Graf, Erwin u. Wenzel, Thomas:** *Wasser - Gewässer. Bericht über eine fächerübergreifende Gewässerexkursion mit Referendaren*. In: Seminar - Lehrerbildung und Schule, 4/1997.
- **Noll, Manfred:** *Wasserprobe*. In: geographie heute, 4. Jg. (1983), Heft 16, S. 57 - 61.
- **Riedel-de Haën (Hrsg.):** *Aquanal-Ökotest Wasserlabor*. Gebrauchsanweisung. Seelze: Riedel-de Haën, 1998.
- **Schmidkunz, Heinz:** *Zur Didaktik der Schnelltestverfahren*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 3. Jg. (1992), Heft 15, S. 4-6.
- **Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz (Hrsg.):** *Der Teltowkanal*. Besondere Mitteilungen zum Gewässerkundlichen Jahresbericht des Landes Berlin. 2. Aufl., 1986.
- **Senatsverwaltung für Schule, Berufsbildung und Sport (Hrsg.):** *Vorläufiger Rahmenplan für Unterricht und Erziehung in der Berliner Schule*, Gymnasiale Oberstufe, Einführungsphase, Fach Erdkunde. Berlin, 1995.
- **Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie (Hrsg.):** *Digitaler Umweltatlas des Landes Berlin*. 2. Auflage, 1997.
- **Tetra Werke (Hrsg.):** *TetraTest O<sub>2</sub>*. Gebrauchsanleitung. Melle: Tetra Werke, 1998.
- **Wallert, Werner:** *Geomethoden*. Berlin: Klett, 1993.