

Werkstattmaterialien

Bildung für eine nachhaltige Entwicklung



Nr. 48

Partizipatives Lernen

Gemeinsam für die nachhaltige Region

Gemeinwesenorientiertes Lernen in der Gymnasialen Oberstufe

Andrea Görz

Ewald Jae

Reiner Mathar

Erhard Müller

Werner Neidhardt

Burghard Tollié

Reinhard Stürmer



IMPRESSUM

Diese Handreichung ist die 48. Veröffentlichung aus der Reihe *Werkstattmaterialien* des BLK-Programms „21“ – Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Das vorliegende Material wurde in Hessen am Georg-Christoph-Lichtenberg Oberstufengymnasium in Bruchköbel entwickelt und ist dem Themenschwerpunkt (Set) „Gemeinsam für die nachhaltige Region“ im Modul „Partizipatives Lernen“ zugeordnet. Kopieren und Weiterreichen der Materialien sind bis zum Ende des Programms am 1. August 2004 ausdrücklich gestattet. Eine Rückmeldung (siehe beiliegende Fragebögen) wird dringend erbeten. Die Inhalte geben nicht unbedingt die Meinung des BMBF, der BLK oder der Koordinierungsstelle wieder; generell liegt die Verantwortung für die Inhalte bei den Autoren.

Projektleitung

Prof. Dr. Gerhard de Haan
Freie Universität Berlin

Herausgeber

BLK-Programm „21“
Koordinierungsstelle
Freie Universität Berlin
Arnimallee 9, 14195 Berlin
Tel.: 030 - 83 85 64 49
E-Mail: info@blk21.de
www.blk21.de
Berlin 2004

Redaktion

Sabine Durak, Sabine Haanl

Übersicht der Module und Sets

Modul 1 Interdisziplinäres Wissen	Syndrome globalen Wandels
	Nachhaltiges Deutschland
	Umwelt und Entwicklung
	Mobilität und Nachhaltigkeit
	Gesundheit und Nachhaltigkeit
Modul 2 Partizipatives Lernen	Gemeinsam für die nachhaltige Stadt
	Gemeinsam für die nachhaltige Region
	Partizipation in der lokalen Agenda
	Nachhaltigkeitsindikatoren entwickeln
Modul 3 Innovative Strukturen	Schulprofil „nachhaltige Entwicklung“
	Nachhaltigkeitsaudit an Schulen
	SchülerInnenfirmen und nachhaltige Ökonomie
	Neue Formen externer Kooperation

INHALTSVERZEICHNIS

IMPRESSUM	2
1 EINFÜHRUNG	5



2 PLANUNGSUNTERLAGEN	6
2.1 GEMEINWESENORIENTIERTES LERNEN – EIN DIDAKTISCHES KONZEPT	6
2.2 ZIELGRUPPE	6
2.3 BEZUG ZUM BLK-PROGRAMM „21“	7
2.4 RAHMENBEDINGUNGEN	7
2.5 BEZUG ZU DEN HESSISCHEN KURSSTRUKTURPLÄNEN FÜR DIE GYMNASIALE OBERSTUFE	8
2.6 THEMEN UND PROJEKTVORHABEN DES GOL AM GEORG-CHRISTOPH- LICHTENBERG OBERSTUFENGYMNASIEN BRUCHKÖBEL IM ÜBERBLICK	8



3 AUSGEWÄHLTE PROJEKTBEISPIELE UND SCHÜLERERGEBNISSE ...	10
3.1 SANIERUNG DES STADTTEICHES „DICKE EICHE“	10
3.1.1 Vorbemerkungen	10
3.1.2 Zielgruppe	11
3.1.3 Das Untersuchungsobjekt	11
3.1.4 Ziel des Projekts	11
3.1.5 Methodik	11
3.1.6 Ergebnisse	11
3.1.7. Materialien	12
3.2 KAHLER LINDENSEE	17
3.2.1 Vorbemerkungen	17
3.2.2 Curriculumbezug	17
3.2.3 Lernziele	17
3.2.4 Bezug zum GOL	18
3.2.5 Das Untersuchungsobjekt	18
3.2.6 Chemisch-physikalische Untersuchungsmethoden	19
3.2.7 Untersuchungsergebnisse	20

3.2.8 Diskussion der Ergebnisse	21
3.2.9 Zusammenfassende Bewertung des Sees	23
3.2.10 Vorschläge für eine Sanierung des Lindensees	24
3.2.11 Zusammenfassung der Sanierungsvorschläge.....	26
3.2.12 Reflexion.....	28
3.3 MILCHVIEH ALS ABGASQUELLE FÜR DÜNGERVERWERTBARE STICKSTOFFVERBINDUNGEN	28
3.3.1 Fragestellung	28
3.3.2 Unterrichtsmethodisches Vorgehen.....	28
3.3.3 Didaktische Überlegungen und Durchführung	29
3.3.4 Reflexion.....	31
3.3.5 Schülerbericht des Projekts	32
3.3.6 Literatur	39
4 AUTORENTEAM	41

1 EINFÜHRUNG

Bei dem vorliegenden Werkstattmaterial handelt es sich um die Dokumentation der theoretischen und praktischen Arbeit einer Gymnasialen Oberstufe in Kooperation mit ihrem kommunalen Umfeld, was als Gemeinwesenorientiertes Lernen (GOL) bezeichnet wird. Dabei tragen die Kommunen und Landkreise ihre Wünsche und Bedürfnisse an die Schule heran und die Lehrerinnen und Lehrer suchen nach Möglichkeiten, diese zusammen mit den Schülerinnen und Schülern zu bearbeiten. Hierzu sammeln sie im Vorfeld lokales Wissen und überprüfen die organisatorischen Möglichkeiten im schulischen Rahmen sowie die Anbindung an die Vorgaben der Rahmenpläne.

Im Werkstattmaterial werden drei der am Georg-Christoph-Lichtenberg Oberstufengymnasium (LOG) in Bruchköbel durchgeführten Projekte beispielhaft vorgestellt, insbesondere werden die übergreifenden Aspekte des Gemeinwesenorientierten Lernens behandelt¹. Die Schule fungiert aufgrund der Erfahrungen der Kommunen mit den Produkten und Ergebnissen der schulischen Arbeit an den gemeinsam verabredeten Vorhaben als Auftragnehmerin für kommunale Fragen und Probleme. Das heißt, die Stadt und der Kreis (z.B. Naturschutzbehörde) treten mit konkreten Aufträgen an die Schule heran, die in einem verabredeten Zeitrahmen zu erledigen sind.

Für die Schülerinnen und Schüler ändert sich damit die Einstellung zu dem was sie als Ergebnis ihrer Arbeit präsentieren, erheblich, die Präsentationen werden nicht mehr nur erstellt, um eine bestimmte Note zu bekommen. Mit dem Auftraggeber Kommune ist vielmehr ein Abnehmer vorhanden, der an den Ergebnissen der Arbeit der Schülerinnen und Schüler ein wirkliches Interesse hat und gute Ergebnisse mit nachvollziehbaren Vorschlägen zur Änderung der Situation des Problems sogar umsetzt.

Auch das Verhältnis Schule-Kommune wandelt sich durch derartige Projekte. Ein Kennen lernen kommunaler Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in ihren Arbeitszusammenhängen und Handlungsgrenzen hilft den Schülerinnen und Schülern Verwaltungshandeln zu verstehen und fundiert zu hinterfragen. Die Wahrnehmung von Kommune und Verwaltung durch die Lernenden wird positiv beeinflusst, das häufige Unverständnis wird zum großen Teil überwunden. Durch die Zusammenarbeit mit dem kommunalen Umfeld ändert sich auch der Blick von außen auf die Schule: Die theoretischen und praktischen Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler, die eine aussagekräftige Zusammenarbeit für die Kommunen darstellen, regen eine positive Einstellung zur Institution Schule an.

¹ Jae, Mathar, Neidhardt in COMED, Zeitschrift für Community Education, Nr. 11 August 1995, Dortmund 1995.



2 PLANUNGSUNTERLAGEN

2.1 GEMEINWESENORIENTIERTES LERNEN – EIN DIDAKTISCHES KONZEPT

Schule muss sich angesichts ihrer veränderten Stellung in der Gesellschaft und angesichts neuer Anforderungen der Gesellschaft an diese Institution in ihren Zielen, Inhalten und Lernformen neu orientieren. Ein wichtiger Aspekt dieser Neuorientierung ist die Öffnung der Schule zu ihrem Umfeld hin, vor allem für das Gemeinwesen, das sie finanziert und aus dem die Schülerinnen und Schüler stammen. Daneben eröffnet sich durch diese Neuorientierung auch die Chance eines neuen Verständnisses vom Sinn und Ziel schulischer Lernprozesse bei Lehrenden und Lernenden.

Mit dem Konzept des gemeinwesenorientierten Lernens wird das Ziel verfolgt, den Schülerinnen und Schülern ein neues Verständnis vom Sinn und Zweck ihrer Arbeit in der Schule zu vermitteln. Im Vordergrund steht die Erarbeitung eines Produktes, das nicht (nur) aus curricularen und Übungsgründen erarbeitet wird, sondern an dem die Gemeinde, für die es erstellt wird, ein echtes, durchaus auch finanzielles Interesse hat. Den Schülerinnen und Schülern wird damit die Ernsthaftigkeit von Lernprozessen in der Schule vor Augen geführt: Es wird im wahrsten Sinne des Wortes für das Leben gelernt, da das Leben in der Gemeinde mit seinen unterschiedlichen Anforderungen selbst Gegenstand des Unterrichts wird. Hierbei soll durch die Projekte aufgezeigt bzw. erprobt werden, dass dieses Produkt nicht neben den „regulären“ Unterrichtsanforderungen und außerhalb des „normalen“ Unterrichts erstellt wird, sondern dass die jeweiligen curricularen Anforderungen der beteiligten Fächer bei der Erstellung des Produkts berücksichtigt werden. Selbstverständlich ist dabei auch, dass die in diesem Produkt erbrachten Leistungen der Schülerinnen und Schüler in die Benotung mit eingehen und Gegenstand von Abiturprüfungen sind.

Ergebnis eines solchen Prozesses kann und soll sein, dass die Gemeinden und Kreise ein verändertes Verhältnis zu Schule allgemein und insbesondere zum Georg-Lichtenberg-Oberstufengymnasium bekommen, an dem die hier beschriebenen Projekte durchgeführt wurden.

Insgesamt erhalten die Schülerinnen und Schüler durch die vorgestellten Projekte die Möglichkeit, schon in der Schule ihre Fähigkeit zu stärken, die Zukunft der Gemeinschaft in der sie leben, in aktiver Teilhabe im Sinne nachhaltiger Entwicklung zu verändern und zu erhalten. Durch den unmittelbaren Realitäts- und Handlungsbezug der Projekte werden hierfür authentische Lernsituationen geschaffen.

2.2 ZIELGRUPPE

Dieses Werkstattmaterial richtet sich an Lehrerinnen und Lehrer der Gymnasialen Oberstufe, die an ihrer Schule im Team fächerübergreifende Themen in Kooperation mit Kommunen und Landkreisen durchführen wollen. Es wird dabei im Einzelnen auf die Rahmenbedingungen und die Bedeutung der Kooperation mit der Kommune eingegangen. Einen besonderen Stellenwert hat die Partizipation der Schülerinnen und Schüler an der Gestaltung der Projekte und an der Präsentation der Ergebnisse beim Auftraggeber Kommune.



2.3 BEZUG ZUM BLK-PROGRAMM „21“

Die Konzeption des Arbeitsvorhabens GOL und die vorgestellten Teilprojekte sind im Rahmen der Beteiligung des Georg-Christoph-Lichtenberg Oberstufengymnasiums Bruchköbel am BLK-Programm „21“ im Modul „Partizipatives Lernen“ unter dem Aspekt „Gemeinsam für eine nachhaltige Region“ entstanden.

Der Schwerpunkt liegt neben der inhaltlichen Bearbeitung der Aufträge und Anfragen der Kommunen und des Kreises darauf, die **Partizipationskompetenz** der Schülerinnen und Schüler zu fördern. Die Lernenden sollen sowohl an den schulischen Arbeitsprozessen als auch an der Entwicklung ihres sozialen und gesellschaftlichen Umfeldes teilhaben und diese Bereiche aktiv mitgestalten.

Die **Kompetenz, vorausschauend zu denken**, wird gefördert, wenn die Schülerinnen und Schüler Prognosen und Vorschläge z.B. für die Sanierung des Kahlen Lindensees machen. Dabei müssen sie über die Gegenwart hinausgreifen und aus gegenwärtigen Zuständen heraus verschiedene Handlungsoptionen entwickeln, wobei Entwicklungschancen und -risiken abgewogen werden müssen.

Die fächerübergreifende Herangehensweise ergibt sich notwendigerweise daraus, dass ein Problem aus dem kommunalen Umfeld im Vordergrund steht, das von einem Fach nur unzulänglich bewältigt werden kann. Damit wird die **Kompetenz, interdisziplinär zu arbeiten**, bei den Lernenden gefördert.

Planungs- und Umsetzungskompetenz ist notwendig und wird gestärkt, wenn die Schülerinnen und Schüler in ihren Prognosen die Veränderbarkeit und Vorläufigkeit des planungsrelevanten Wissens berücksichtigen sowie Rückkopplungen, Spätfolgen, Zeitverzögerungen etc. in ihre Empfehlungen mit einbeziehen müssen.

Die im Rahmen der einzelnen Projekte von den Lernenden erarbeiteten Ergebnisse über Ursachen und Folgen nicht-nachhaltiger Entwicklungen regen die Schülerinnen und Schüler nicht zuletzt dazu an, ihren eigenen Lebensstil sowie kulturell und gesellschaftlich verankerte Verhaltensweisen zu hinterfragen – die **Kompetenz zur distanzierten Reflexion über individuelle wie kulturelle Leitbilder** wird aufgebaut.

Die Vermittlung dieser Teilkompetenzen der Gestaltungskompetenz wird dadurch besonders wirksam, dass in Situationen gearbeitet wird, die auf realen Problemen und Entscheidungen aufbauen, und dass realisierbare Lösungen erarbeitet werden.

2.4 RAHMENBEDINGUNGEN

Die Lehrerinnen und Lehrer des Georg-Christoph-Lichtenberg Oberstufengymnasiums Bruchköbel, einer Kleinstadt im Umland von Frankfurt/Main, beschäftigen sich seit vielen Jahren mit der Anbindung von Unterrichtsthemen und Projekten an das soziale Umfeld der Schule. Die Schule ist eine selbstständige Gymnasiale Oberstufe. Die Schülerinnen und Schüler kommen alle neu in die Jahrgangsstufe 11, entweder aus einem Schulverbund Integrierter Gesamtschulen oder von umliegenden Realschulen und Gymnasien. Der Unterricht findet in der Jahrgangsstufe 11 im Klassenverband mit einem sehr gut ausgebauten System der Beratung der Schülerinnen und Schüler für die Qualifikationsphase in den Jahrgangsstufen 12 und 13 statt. Diese Phase wird im Kursystem durchgeführt mit festen Leistungskursgruppen in einem breiten Spektrum von Fächerkombinationen. Die Schülerzahl beträgt ca. 500 (Klassen 11-13).



2.5 BEZUG ZU DEN HESSISCHEN KURSSTRUKTURPLÄNEN FÜR DIE GYMNASIALE OBERSTUFE

Alle Unterrichtsprojekte und Vorhaben fanden im Regelunterricht statt, d.h. sie sind angebunden an für die Lernenden verpflichtende Grund- und Leistungskurse. Alle Inhalte orientierten sich dabei an den verbindlichen Kursvorgaben. Der Auftrag der Lehrerinnen und Lehrer bestand jeweils darin, die Inhalte und zeitlichen Abläufe an die Vorgaben der Rahmenpläne anzupassen.

Inhalte und Ergebnisse der Projekte flossen auch in die Gestaltung von Klausuren und Abituraufgaben mit ein. Häufig wählten Schülerinnen und Schüler zudem (Teil-) Themen aus den Projekten als Schwerpunkte für mündliche Prüfungen.

Für die Zukunft soll versucht werden die Arbeit auch in die Gestaltung des 5. Prüfungsfaches der Abiturprüfung zu integrieren, d.h. es sollen Möglichkeiten und Anknüpfungen für besondere Lernleistungen und Präsentationen entwickelt werden.

An den Projekten waren in den letzten Jahren mit unterschiedlichen Schwerpunkten folgende Fächer beteiligt:

- Deutsch (Textarbeit, Öffentlichkeitsarbeit)
- Englisch
- Geografie
- Politik/Wirtschaft
- Biologie
- Chemie
- Physik
- Mathematik

Die konkreten Bezüge zu den geltenden Kursstrukturplänen sind bei den jeweiligen Projekten dargestellt.

2.6 THEMEN UND PROJEKTVORHABEN DES GOL AM GEORG-CHRISTOPH-LICHTENBERG OBERSTUFENGYMNASIEN BRUCHKÖBEL IM ÜBERBLICK

Nach Vorlauf- und Planungsphasen ab 1995 hat die Schule in den vergangenen Jahren das Prinzip des GOLs durch folgende Vorhaben und Projekte realisiert:

- Analyse und Renaturierung verschiedener Abschnitte des Krebsbaches
- Mitarbeit an einer Erhebung zum Öffentlichen Nahverkehr in Bruchköbel
- Analyse und Bewertung von Teichen und Fließgewässern im Auftrag von Kommunen
- Comenius 1 Projekt zum Themenbereich Wasser/Gewässer mit den Niederlanden und Dänemark²
- Tourismus in den Alpen

² Die europäische Dimension der Bildung, Projekte und Erfahrungen, Europäische Arbeitshefte, Hrsg. Europäische Kommission, PAU Education, Barcelona 2001, hier ist das Projekt der Schule ausführlich beschrieben.



- Kartoffelprojekt: Untersuchung gewässerschonender Düngerverfahren
- Milchvieh als Abgasquelle

3 AUSGEWÄHLTE PROJEKTBEISPIELE UND SCHÜLERERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden ausgewählte Projekte vorgestellt:

- **Sanierung des Stadtteiches „Dicke Eiche“:** Bei diesem Projekt untersuchte die Schule im Auftrag der Stadt Bruchköbel den Teich „Dicke Eiche“ und unterbreitete der Stadt Sanierungsvorschläge.
- **Kahler Lindensee**
Die Schule nahm hier im Auftrag eines Anwohners eine systematische Untersuchung eines Sees vor und legte dem Auftraggeber Veränderungs- und Nutzungsvorschläge vor.
- **Milchvieh als Abgasquelle für düngerverwertbare Stickstoffverbindungen:**
Im Auftrag eines Landwirtes übernahmen Schülerinnen und Schüler die Aufgabe kontinuierliche Gasmessungen durchzuführen und überprüfen, ob emittierte Stickstoffverbindungen in Konzentrationen auftreten, die sich in eine düngerverwertbare Form überführen lassen.

Die Projektbeispiele enthalten die jeweiligen Fachbezüge, die Aufgabenstellungen, Einblicke in die Arbeitsabläufe und Ergebnisse der Arbeiten. Teilweise wurden die Texte von den Schülerinnen und Schülern selbst verfasst und spiegeln damit die Arbeitsweisen, das Engagement und die Ergebnisse der Lernenden wieder.

3.1 SANIERUNG DES STADTTEICHES „DICKE EICHE“

3.1.1 Vorbemerkungen

Im September 1998 erfolgte eine telefonische Anfrage durch das Büro des Bürgermeisters der Stadt Bruchköbel an das GOL Team des Lichtenberg Oberstufengymnasiums mit der Bitte, eine Untersuchungsreihe zur Gewässerbeurteilung im Teich „Dicke Eiche“ in Bruchköbel zu starten. Nach der über zweijährigen sehr guten Zusammenarbeit bei der Renaturierung des Krebsbaches hoffte die Stadt auf ein besonderes Engagement unserer Schülerinnen und Schüler, sowie des Lehrerteams. Nach eingehenden Vorbereitungen starteten mehrere Gruppen im Frühjahr 1999 mit den Untersuchungen, die sich bis Ende 2000 erstreckten. In diesem Zeitraum wurden auch zwei „Trainingswochen“ in Rieneck³ durchgeführt. Hier erprobten und verfeinerten die Schülerinnen und Schüler in einem Kompaktseminar vor allem bestimmte Analysetechniken, Beobachtungsmodelle und Dokumentationsverfahren für das Projekt „Dicke Eiche“. Am 24.01.2001 konnten dem stellvertretenden Bürgermeister und Umweltdezernenten der Stadt Bruchköbel die Ergebnisse zur Sanierung des Teiches unterbreitet werden. Am gleichen Tag wurde dieser Vorschlag in einer Magistratssitzung zur Diskussion gestellt.

³ Die Jugendherberge „Burg Rieneck“ im Spessart wird von der Schule als außerschulischer Lernort genutzt.

3.1.2 Zielgruppe

An diesem Projekt haben insgesamt acht Lerngruppen aus Biologie-Leistungskursen und Chemie Grundkursen der Jahrgangsstufen 11-13 mitgewirkt.

3.1.3 Das Untersuchungsobjekt

Der Teich „Dicke Eiche“ befindet sich am Rande eines Waldgebietes in einer Naherholungsanlage mit Grillplatz und Spielplatz. Die Ufer sind von großen Laubbäumen gesäumt. Der Teich hat eine Wasserfläche von ca. 2.500 m², eine Tiefe von 1 bis 3m und verlandet an flachen Stellen bereits. Aufgrund des starken herbstlichen Laubfalls, der geringen Wassertiefe, eines fehlenden Zu- und Abflusses eutrophiert der Teich zwangsläufig sehr stark.

3.1.4 Ziel des Projekts

Das Lichtenberg Oberstufengymnasium sollte für dieses Gewässer ein Sanierungskonzept erarbeiten, das für die Gemeinde ökologisch und ökonomisch verwertbar ist.

3.1.5 Methodik

Von Februar 1999 bis Dezember 2000 wurde die Gewässergüte biologisch und chemisch im gesamten Jahresverlauf bestimmt. So konnten Jahresverlaufsprofile über 2 Jahre erstellt werden. Dazu wurden jeweils regelmäßig Organismen im Gewässer gefangen und gemäß DIN 38410 daraus die biologische Gewässergüte berechnet. Diese Aufgabe wurde von einer elften Klassen im Rahmen des laufenden Biologieunterrichts (Thema: Cytologie) ausgeführt.

Zusätzlich wurde die Gewässergüte von Schülerinnen und Schülern der Chemie-Grundkurse anhand quantitativer chemischer Wasseranalysen bestimmt. Auch das geschah im Rahmen des laufenden Chemie-Unterrichts, integriert in das Curriculum des Kurses (chemische Analytik).

Die Gesamtbewertung der Wasserqualität aufgrund der biologischen/chemischen Messwerte, das Erkennen und Formulieren der Ursachen dieser starken Eutrophierung und das Erarbeiten sinnvoller Sanierungsvorschläge für die Gemeindeverwaltung wurde von Schülerinnen und Schülern der Biologie Leistungskurse ausgeführt. Diese Schülerinnen und Schüler waren dafür motiviert und fachlich vorbereitet, weil in einem Halbjahr der Jahrgangsstufe 12 das Thema Ökologie am Beispiel von Gewässern behandelt wurde.

3.1.6 Ergebnisse

Es wurden mehrere Sanierungsvorschläge für diesen Teich erarbeitet und der Gemeindeverwaltung vorgelegt. Diese Vorschläge wurden in der Stadtverordneten-Versammlung positiv diskutiert. Man war sich einig, dass der Teich auf dieser Basis in nächster Zeit saniert werden sollte.

3.1.7. Materialien

Material 1: Methodik, Messergebnisse und Bewertung des Teiches

Bewertung der biologischen Gewässergütebestimmung des Teiches „Dicke Eiche“.

Methodik:

Es wurden im Jahre 2000 drei Proben genommen:

11. Mai:

- die Vegetationsperiode der Wasserpflanzen hat begonnen,
- Laub und organisches Material des Vorjahres sollten abgebaut sein zu aeroben, evtl. auch anaeroben Produkten,
- Produzenten streben erstes Jahresmaximum an, Konsumenten und Destruenten folgten zeitverzögert.

07. September:

- Bäume am Teich haben noch kein Laub abgeworfen,
- Produzenten sind noch nicht abgestorben infolge Wintereintritt,
- Wasser sollte also noch nicht stark mit organisch abbaubarem Material belastet sein, d.h. deutlich bessere Qualität aufweisen als im Spätherbst.

16. November:

- Bäume haben Laub vollständig abgeworfen, kaum noch Produzenten vorhanden,
- viel organisches Material liegt vor.

An diesen drei Tagen wurden Wasserorganismen gesammelt; dazu wurden mit Netzen an verschiedenen Stellen des Teiches und in verschiedenen Tiefen je 10 Züge durchgeführt. Zusätzlich wurden – sofern das wegen der Wassertiefe möglich war – an verschiedenen Stellen Schlammproben entnommen, die darin lebenden Organismen ausgewaschen und ebenfalls gesammelt. Weiter wurden Organismen unter ufernahen Steinen gefangen. Danach wurden alle Tiere bestimmt und ihre ökologische Potenz G und ihr jeweiliges Präferendum anhand von DIN- Listen (DIN 38410) festgelegt. Die Gewässergüte kann danach formelmäßig errechnet werden.

Messergebnisse:

Es ergaben sich folgende Werte:

11.Mai 2000	2,4	Vergleich	11. März 1999	2,4
07.Sept. 2000	2,4		27. Mai 1999	2,9
16. Nov. 2000	2,6		11. Nov. 1999	2,8

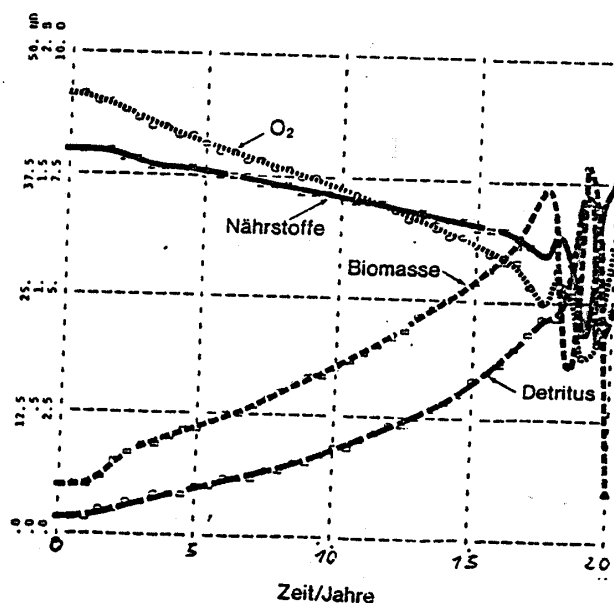
Bewertung:

Es zeigt sich, dass der Teich infolge großer Mengen organischen Materials stark eutrophiert ist. Auf den ersten Blick erscheint die Wassergüte im Sommer 2000 etwas günstiger als im Jahr 1999, im Spätherbst nähern sich die Werte aber wieder stark an. Das ist auch nicht verwunderlich, da die Hauptquelle des übermäßigen Nährstoffeintrags der herbstliche Laubfall darstellt. Im Mai 2000 waren noch Reste des Laubfalls vom Vorjahr in Form der schwer abbaubaren Blattrippen übrig. Auch Äste in allen Abbaustadien befanden sich im Wasser, was deutlich zeigt, dass die Bäume am Teich hauptverantwortlich sind für den hohen Nährstoffeintrag. Im Frühjahr gelangt durch den Pollenflug zusätzlich Stickstoff in das Gewässer. Der hohe Bestand an *Asellus aquaticus* (Wasserassel) und *Tubifex* (Ringelwurm) ist ein weiteres Indiz für das Vorhandensein großer Mengen an organischem abbaubarem (bzw. faulendem) Material. Beide Tiere sind das ganze Jahr über im Teich heimisch, es muss also genügend Nahrung, d.h. organisches Material vorhanden sein.

Unter Steinen und im Schlamm wurden bei allen drei Proben im Jahr 2000 halbquantitativ H_2S und NH_4^+ nachgewiesen. Anaerobe Stoffwechselvorgänge finden also das ganze Jahr über dort statt. Sie produzieren giftige Stoffe, die zwar aerob wieder zu „harmlosen“ Pflanzendüngern oxidiert werden, aber für empfindliche Wassertiere sehr schädlich sind. Es zeigt sich recht deutlich, dass im Teich nur wenige robuste Arten leben, die in großer Individuenzahl vorkommen. Das ist typisch für belastete Biotope.

Ohne Zufluss sauberen Wassers und einen Abfluss wird sich die Gewässergüte des Teiches immer weiter verschlechtern. Er wird langsam verlanden. Ansätze dazu kann man bereits im südlichen Teilareal erkennen.

Langzeituntersuchungen an Seen in Kanada, durchgeführt von einer Forschergruppe um Martin Anderson, Quebec, haben deutlich gezeigt, dass selbst Seen mit einer viel größeren Wasserfläche bei einem jährlichen C-Eintrag von $40 \mu\text{g/l/yr}$ mit jährlicher Steigerung von 2% bereits nach 20 Jahren umkippen:



Verlauf der Eutrophierung bei einer anfänglichen Nährstoffzufuhr von $40 \mu\text{g}$ pro Liter und Jahr, die jährlich um 2% zunimmt: Das Gewässer kippt um.

Abbildung 1: Verlauf der Eutrophierung

Der Kohlenstoff- Eintragswert von 40 ug/l/yr wird an der „Dicken Eiche“ um ein Vielfaches überschritten. Das Gewässer wird also noch schneller umkippen. Die kanadische Forschergruppe hat aber auch wirksame **Sanierungsvorschläge** für stark eutrophierte Seen vorgeschlagen.

Für den Teich „Dicke Eiche“ wäre ein regelmäßiges Ausbaggern des Faulschlammes im Abstand von drei bis vier Jahren, kombiniert mit Sauerstoffzufuhr über Springbrunnen oder direkte Belüftung des Gewässerbodens hilfreich.

Zusätzlich könnte das Teichwasser über ein mit Binsen und Schilf bewachsenes Gelände geleitet werden und nach erfolgter Reinigung von Nährstoffen wieder in den Teich zurückfließen. Die Bepflanzung müsste im Herbst abgeerntet und entsorgt werden.

Alle diese Maßnahmen sind allerdings sehr teuer und technisch aufwendig, somit sind sie an der Dicken Eiche wohl nicht durchführbar.

Protokoll der biologischen Gewässeruntersuchung gemäß der Dicken-Eiche
 Beobachtung: Biologie - 1. September 1972 (E. Müller)
 Baubehörde: 1105 00102-03 000 III 16.00.00 (MD)
 Datum/Uhrzeit: 11.05.00102-03 000 III 16.00.00 (MD)
 Lufttemperatur: I: 28°C, II: 27°C, III: 27°C, IV: 27°C
 Weiter: I: beackert; II: bewaldet; III: sonnig

	°	D	II						III
			A	A/G	A/G	A/G	A/G	A/G	
Schnecken (Gastropoda)									
<i>Acicula locustae</i> (Tritonpilchschnecke)	2,2	4							
<i>Ascyra brevitars</i> (Tritonpilchschnecke)	2,0	4							
<i>Bathynopis concolor</i> <i>Bathynopis venustus</i> (Lang-Schwarzgoldschnecke)	2,2	4							
<i>Bythinia</i> spp. (Gartenplanorbis)	2,3	8							
<i>Cyranella thius</i>	1,0	16							
<i>Physa acuta</i>	2,1	8							
<i>Physa sarsii</i>	2,8	4							
<i>Physa sarsii</i> (Garten-Schwammdecke)	2,6	4							
<i>Pomax pygmae</i> (Gartenplanorbis)	2,3	4							
<i>Radix pygmae</i>	2,3	4							
<i>Radix pygmae</i> (Friedrichs-Schwammdecke)	1,7	8							
<i>Viviparus puzosii</i> <i>Viviparus viviparus</i> (Schneckenplanorbis)	2,1	8							
	2,0	8							
Muscheln (Bivalvia)									
<i>Acadusa typica</i>	2,0	8							
<i>Orticona typica</i>	2,2	4							
<i>Winkleria stictica</i>	2,2	4							
<i>Sigambra costata</i> (Kiefernplanorbis)	2,3	4							
<i>Spatula arctica</i>	2,2	4							
<i>Uros maris</i>	1,8	8							
<i>Gemmae fulminans</i> (Mitternachtschnecke)	2,0	4							
<i>Uros maris</i> (Kiefern-Planorbis)	2,0	8							
Kriechtiere (Testudines)									
<i>Aceris squamatus</i> (Waldschnecke)	2,2	4	3	72	32	4	3	72	32
<i>Agropyga desmaneti</i>	1,9	8							
<i>Gemmae costata</i> (Basilisschnecke)	1,6	8							
<i>Gemmae pulchra</i> (Basilisschnecke)	2,1	4							
<i>Gemmae poszeli</i> (Pulchschnecke)	2,0	8							
<i>Gemmae ignota</i>	2,4	4							
<i>Pomaxia costalis</i>	2,8	4							

3	72	32	4	3	72	32	4	3	72	32	4
---	----	----	---	---	----	----	---	---	----	----	---

[illegible]

	I	II		III	
		A	AVG	A	AVG
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
<i>Ichneumon organiiformis</i>	5	G			
<i>Glomeratus</i> spp.	1,5	8			
<i>Osmia picta</i>	1,9	4			
<i>Hydropyrus altaii</i>	1,5	8			
<i>Laticephala basalis</i>	1,8	8			
<i>Lepidodermis khvini</i>	1,8	8			
<i>Odoecotoma albicornis</i>	1,4	4			
<i>Oligoneurus maculatus</i>	1,7	8			
<i>Philoponax</i> spp.	1,3	8			
<i>Pteronocentrus</i> spp.	1,5	4			
<i>Polycentrus</i> spp.	2,0	8			
<i>Pyrrhomyia pallida</i>	2,1	4			
<i>Philocerus pyramidalis</i>	1,0	16			
<i>Hyperbryocophila</i> spp.	1,0	16			
<i>Bryocisocophila</i> spp.	1,5	8			

<i>Blyscapha</i> spp.	2,0	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
-----------------------	-----	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

	A	ANG	ANG	A	ANG	A	ANG	A	ANG
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zwischensumme 1	8	33	100	7	28	18	46	24	12
+ Zwischensumme 2	3	12	14	3	12	8	4	3	12
+ Zwischensumme 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+ Zwischensumme 4	9	60	116	4	12	80	106	7	56
+ Zwischensumme 5	3	12	10	8	3	12	40	3	12
Endsumme	16	205	336	15	62	192	206	14	128
Strohbindex	645	640	658						

**Entscheidungskriterien für die
Schätzung der Häufigkeit
(=Abundanzfitter)**

1 = Einzelfund	(1 - 2 Tiere)
2 = wenig	(3 - 10 Tiere)
3 = wenig - mittel	(11 - 30 Tiere)
4 = mittel	(31 - 60 Tiere)
5 = mittel - viel	(61 - 100 Tiere)
6 = viel	(101 - 150 Tiere)
7 = massenhaft	(über 150 Tiere)

Berechnung des Saprobienindex einer Messung

$$\text{Saprobienindex} = \frac{\text{Gesamtsumme } A \times G \times e}{\text{Gesamtsumme } A \times G}$$

a = Saprobienwert des Tieres
 G = Indikatorgewicht des Tieres
 A = Häufigkeit im Sammelgefäß
 e = Abundanzwert, ausgerechnet oder geschätzt

I-Meß Maßzahlen

I-IV = Meßstellen I bis IV

am 11.05.00 zusätzlich gefunden:

- 1: viel Cyclopodia (frassen Raas, totos org. material, Pflanzen)
- 2: 8 x Daphnia magna (typisch für verschmutzte Kleingewässer)

07.09.00

7: massenhaft cycloproducte

2: *Max Daphnia magna*16.11.00:

7: sehr viel Cyclopedica

2: wasserkraft Daphnia magna

November 2000 E. Müller

3.2 KAHLER LINDENSEE

3.2.1 Vorbemerkungen

Ein Anwohner nahm mit einem Kollegen des Georg-Christoph-Lichtenberg Oberstufengymnasiums Kontakt auf in der Absicht, Interessenten für Untersuchungen des Kähler Lindensees zu finden. Dieser Kiessee fiel lange Zeit durch sein klares Wasser auf, dem man Trinkwasserqualität nachsagte. In den letzten Jahren zeigte sich jedoch periodisch eine starke „Algenblüte“. Der Anwohner suchte nach Ursachen und Sanierungsmöglichkeiten, die dem Eigentümer vorgelegt werden sollten.

Nach eingehender Erörterung im Chemie Grundkurs und nach Rücksprache mit der Schulleitung über das anvisierte Projekt entschloss sich ein Chemie-Analytikurs die erforderlichen chemischen Untersuchungen durchzuführen und den gewünschten Bericht zu erstellen.

Den Schülerinnen und Schülern war bewusst, dass für ein gut begründetes Urteil Längsschnittuntersuchungen erforderlich sind, die mehrere Jahresprofile berücksichtigen sollten, um der Dynamik des Sees gerecht zu werden. Für die Erhebungen stand jedoch nur ein Zeitraum von ca. zehn Monaten zu Verfügung. Dennoch erstellten die Lernenden am Ende der Untersuchungsreihe eine Prognose, skizzierten Hinweise für weitere Untersuchungen und formulierten Perspektiven für eine Sanierung.

3.2.2 Curriculumbezug

Biologie:

- Biotische und abiotische Umweltfaktoren
- Untersuchung eines regionalen Ökosystems
- Projektorientiertes selbständiges Lernen
- Dynamik eines Ökosystems
- Ökologisches Gleichgewicht
- Folgen menschlichen Eingreifens an einem Beispiel untersuchen

Chemie:

- Das chemische Gleichgewicht (MWG-Anwendungsbeispiele)
- Verteilungsgleichgewichte
- Löslichkeitsprodukt
- Methoden der chemischen Analysen (hier Photometrie, Colorimetrie)
- Ökologische Fragen der angewandten Chemie
- Kinetik chemischer Reaktionen

3.2.3 Lernziele

Folgende Lernziele wurden angestrebt:

- Möglichkeiten und Grenzen von Modellaussagen erkennen und bewerten können
- Analysenverfahren planen und durchführen können
- Analyseverfahren auf Validität überprüfen können
- Messergebnisse in einen sinnvollen Bezug zur Ausgangsfragestellung bringen können

- Teamarbeit organisieren können
- Informationsrecherchen durchführen können
- Verantwortung für die Natur in individuellen und gesellschaftlichen Bereich übernehmen
- Ökologisches Denken anbahnen und Wege der Entscheidungsfindung reflektieren

3.2.4 Bezug zum GOL

Folgender Bezug zum GOL kann hergestellt werden:

- Auftrag kam von einer Privatperson, die der Schule eine solche Untersuchung zutraute.
- Der See wird als Naherholungsgebiet genutzt und hat somit kommunale Bedeutung.
- Die durchgeführten Untersuchungen waren für Personen außerhalb der Schule von Bedeutung (gemeinwesenorientiert) und die praktischen Arbeiten hatten einen unmittelbaren Anwendungsbezug.
- Die Planungsphase und war in hohem Masse selbstreflexiv.

3.2.5 Das Untersuchungsobjekt

Allgemeine Anmerkungen

Der Lindensee liegt bei 9° 1' östlicher Länge und 50° 5' 24'' nördlicher Breite und damit nördlich von Kahl an der Kreuzung der B8 mit der St.2305 in einem vorwiegend mit Kiefern bewachsenen Wald. Verbunden ist der Lindensee durch einen ca. 20 m breiten Durchbruch mit dem größeren Schlosssee. Seine Oberfläche beträgt ca. 0,1 km², das Bodenprofil und damit seine Tiefe konnten nicht ermittelt werden. Letztere ist allerdings für eine fundierte Beurteilung bedeutsam – die geschätzte Tiefe des Sees beträgt 7-10 m.

Zuflüsse gibt es keine, abgesehen von kleinen Gräben aus der unmittelbaren Umgebung, so dass davon ausgegangen werden muss, dass es sich bei dem Seewasser zu einem großen Teil um Grundwasser handelt. Da das Ufer vorwiegend in Privatpacht ist, wurde eine vollständige Begehung nicht durchgeführt. Die einmalige Untersuchung eines Wassergrabens auf Phosphat und Nitrat zeigte gegenüber dem Seewasser keine auffälligen Werte.

Messpunkte

An insgesamt zwei Messstellen wurden jeweils an der Oberfläche und in 50 cm Tiefe Wasserproben entnommen.

Die Messpunkte 1/0 und 1/50 liegen in einer Bucht des Anwesens Giegerich und sollen die Litoralzone, d.h. die Zone des Uferbereiches, repräsentieren. Die Messpunkte 2/0 und 2/50 liegen am Übergang der Bucht zum offenen See, also im Pelagial.



3.2.6 Chemisch-physikalische Untersuchungsmethoden

Art der Untersuchung, Methode und Erfassungsgrenze

Parameter	Methode	Erfassungsgrenze
Temperatur	Sonde/Hg-Thermometer	0,1 °C
pH	pH-Messelektrode zwei Varianten	0,01 bzw. 0,1
Leitfähigkeit	Leitf.-Messgerät mit Elektrode	1 µS/cm
Sauerstoff	colorimetrisch bzw. membranbedeckte amperometrische Sauerstoffsonde (WTW)	0,1 mg/l
BSB ₅	wie Sauerstoff	wie Sauerstoff
Nitrit	Photometrisch (WTW)	1 µg/l
Nitrat	Photometrisch (WTW)	0,1 mg/l
Phosphat	Photometrisch (WTW)	0,1 mg/l
Ammonium	Photometrisch (WTW)	0,1 mg/l

Aussagen der gemessenen Parameter

pH: Relative Menge photosynthetisch aktiver Pflanzen

Leitfähigkeit: Relative Menge gelöster Ionen

Sauerstoffe: Relative Menge photosynthetisch aktiver Pflanzen/relative Lichtversorgung, Dichte der Algensuspension

BSB₅: Sauerstoffzehrung, Maß für Mikroorganismenaktivität

Nitrit: Umsatz der Mineralisierung von Stickstoffverbindungen

Nitrat: Stickstoffversorgung

Phosphat: Wichtiges Mineral, für Algen hier begrenzender Faktor (Minimalfaktor)

Ammonium: Wie Nitrit

3.2.7 Untersuchungsergebnisse

Datum	06.06.	15.07.	12.09	14.10.	24.11.	28.11	22.01	26.03.
Ort	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0
pH	9	8,5	8,29	7,7	7,95	7,36	7,92	8,3
Temp.	20,3	21,2	19,9	13,3	8	4,4		7
Leitf.	358	366	396	468	367	512		
Sauerst.	12	8,5	11,7	8,9		10,2		
BSB5	8,1	2,1	2,2					
Phosph	< ,01	< ,01	< ,01	< ,01		0,15	0,15	0,1
Nitrit	3		2					1,2
Nitrat		0,5	1,4		0,6	1	1,2	1,3
NH4	0,2	0	0,1	0		0,1		
Datum	06.06	15.07.	12.09.	14.10.	24.11.	28.11..	22.01.	26.03.
Ort	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50
pH	9	8,5	8,01	7,7	8,3	7,64	8	8,2
Temp.	19,5	20,6		13,3	8	4,8		7
Leitf.	350	372	382	395	360	472		
Sauerst.	8,7	8		9,2		9,6		
BSB5								
Phosph	0,1	0,1	0,1	0,1		0,12	0,15	0,1
Nitrit	1		2					1,2
Nitrat		0,5	1,4		0,6	1,2	0,8	1,2
NH4	0	0	0	0	0	0,1	0	0
Datum	06.06.	15.07.	12.09.	14.10.	24.11.	28.11..	22.01.	26.03.
Ort	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0
pH	9	9,1	7,97	7,8	7,9	7,95	8,03	8,2
Temp.	19,7	23,9	20,4	13,6	8	4,3		8,2
Leitf.	336	314	379	379	357	471	523	389
Sauerst.	13	10,3		8,6		12,8		
BSB5	5	1,7	2,5					
Phosph	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		0,1	0,13	0,1
Nitrit	2		2					3
Nitrat		0,5	1,4	1,1	0,6	0,7	1,3	1
NH4	0,5	0	0	0,5		0,1		
Datum	06.06.	15.07.	12.09.	14.10.	24.11.	28.11..	22.01.	26.03.
Ort	2/50	2/50	2/50	2/50	2/50	2/50	2/50	2/50
pH	9	8,8	8,18	7,9	8,1	8,07	7,85	8,3
Temp.	19,2	24	19,9	13,7	8	4,2		7
Leitf.	331	314	387	383	354	472	501	371
Sauerst.	11,4	9		8		12,4		
BSB5								
Phosph	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		0,14	0,15	0,1
Nitrit	1,6		2					
Nitrat		0,5	1,4	1	0,8	0,6	1,1	1,2
NH4	0	0	0	0,5		0,1		

3.2.8 Diskussion der Ergebnisse

Vorbemerkung

Eine limnologische Beurteilung des Sees erfordert unseres Erachtens keine dezidierte Erörterung aller gemessener Parameter. Vor dem Hintergrund gut belegter Beobachtungen und Experimente kann es als erwiesen gelten, dass sich die Produktivität eines geschichteten Sees hauptsächlich nach der Phosphatbelastung richtet. So heißt es bei Sommer⁴: „Die mit Stickstoff und Kohlenstoff gedüngte Hälfte eines oligotrophen Sees blieb im Verlauf der Sommermonate dunkelblau, während sich die andere, mit Stickstoff, Kohlenstoff und Phosphat gedüngte Hälfte in eine hellgrüne Brühe verwandelte.“

Die neben Phosphat ermittelten Parameter, die z.T. nicht kontinuierlich aufgenommen werden konnten, sollen für die Bewertung herangezogen werden, wenn plausible, auf Phosphat bezogene Interpretationen belegt werden sollen, aber auch, wenn Widersprüchliches auftritt und/oder Ableitungen unsicher werden.

Die Interpretation der Messergebnisse wird durch den z.T. diskontinuierlich erhobenen Datenpool erschwert. Dieser Umstand wird i.d.R. durch unvorhergesehene Störungen begründet, z.B. durch den Bruch einer pH-Messkette. Bei unserer Interpretation stützen wir uns auch auf Erfahrungen anderer aus vergleichbaren Unternehmungen.

Interpretation der Ergebnisse an ausgewählten Beispielen

a) pH-Wert

Der pH-Wert stellt ein Maß für die Produktionsleistung des Phytoplanktons (also der Algen) dar. Hohe Werte korrelieren i.d.R. mit einem hohen Algenaufkommen.

Die Höchstwerte konnten wir mit pH-Wert 9 am 6.6. (157. Jahrestag) und am 15.7. (196. Tag) messen. In den Wintermonaten, z.B. am 15.11. (322. Tag), wurden die geringsten Werte aufgenommen. Aus vergleichenden Untersuchungen ist bekannt, dass der pH-Wert z.T. deutliche Schwankungen im Tages-Nacht-Gang aufweisen kann, es also zu einer jahres- und tageszeitlichen Überlagerung kommt. Die meisten Werte haben wir in der Zeit von 8:00 bis 9:30 Uhr aufgenommen. Der leichte Anstieg des pH-Wertes zwischen dem 22.1. und dem 26.3. deutet auf die einsetzende Phytoplanktonaktivität hin und lässt eine gute Nährstoff-/Phosphatversorgung des Sees vermuten.

b) Temperatur

Sie hat den stärksten Einfluss auf den Sauerstoffgehalt (negative Korrelation) und korreliert positiv mit der Leitfähigkeit. Den Einfluss, den sie auf den pH-Wert hat, konnten wir messtechnisch eliminieren, so dass beim pH-Wert temperaturbereinigte Werte vorliegen.

Der Temperaturverlauf ist insofern nicht sehr aussagekräftig, als dass die Messwerte zeitlich zu weit auseinander liegen. Wir haben diesen Parameter ermittelt,

⁴ Sommer, U.: Planktologie, Springer-Verlag, Heidelberg 1994.

um Messwerte, die zur gleichen Zeit aufgenommen wurden, vergleichend interpretieren zu können. Außerdem sollte hierdurch die Eichung der Elektroden vorgenommen werden.

Die Temperaturmessungen erlauben keine Aussage über die Sprungschichtung des Sees. Da die tiefen Messungen lediglich in 50 cm Tiefe vorgenommen werden konnten, ist darüber auch kein Datenmaterial zu erwarten. Bei einer geschätzten Tiefe von 7 bis 10 m kann jedoch mit Zirkulationen im Frühjahr und Herbst gerechnet werden.

c) **Leitfähigkeit**

Sie wurde in $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen, für die Graphik jedoch in mS umgerechnet. Sie zeigt eine Korrelation mit dem Nitrat- und dem Phosphatgehalt. Aus den Messdaten ist nicht ableitbar, dass Kohlenstoffverbindungen die limitierenden Nährstoffe darstellen, anderenfalls müsste es, wie aus Untersuchungen de Dümmers bekannt, zu einer gegenläufigen Entwicklung von pH- und Leitfähigkeit in dem Bereich über pH 8,5 und höher kommen. Dies trifft im Ansatz nur für Messstelle 1 (im Oktober) zu. Für eine Bestätigung einer solchen Hypothese wären jedoch die Ermittlung der Ca^{++} - und Hydrogencarbonat-Konzentration erforderlich. Da der pH den Wert von 10 nicht übersteigt (bei diesem Wert kommt es zur Ausfällung von Calciumcarbonat) und die negative Korrelation nur schwach zeitlich und örtlich sehr begrenzt auftritt, gehen wir davon aus, dass Kohlenstoff kein das Algenwachstum limitierender Faktor ist.

d) **Sauerstoff und Biologischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen (BSB_5)**

Diese Werte konnten nicht kontinuierlich aufgenommen werden. Die Sauerstoffwerte wurden z.T. durch eine membranbedeckte amperometrische Sauerstoffsonde der Firma WTW, zum anderen durch ein colorimetrisches Verfahren ermittelt. Die gewonnenen Werte zeigen eine hohe Produktion von Sauerstoff in den oberen Wasserschichten an.

Den Abfall in den Monaten Juni/Juli führen wir auf eine Verminderung der Lichtversorgung der einzelnen Algen durch die hohe Algendichte zurück. Zum Teil stimmt diese Interpretation mit dem steigenden Wert der Nitratkonzentration überein, die durch das Absterben von Phyto- (und Zoo-) Plankton bedingt sein kann.

Die BSB_5 -Werte zeigen zum aufgenommenen Zeitpunkt keine Auffälligkeiten.

e) **Phosphat**

Die Phosphatkonzentration erscheint uns am wichtigsten für die Bewertung des Sees. Bei vergleichenden Messungen diverser Seen mit „Algenblüten“ zeigte sich Phosphat als *der* für das Algenwachstum entscheidende Faktor.

Unsere Messwerte liegen bis zum Januar unter $100\mu\text{g}/\text{l}$ und können somit (leider) nicht genau angegeben werden. Die Grenzkonzentration des verwendeten photometrischen Verfahrens liegt bei $100\mu\text{g}/\text{l}$. Der Anstieg der Werte im November erreichte den Maximalwert von $150\mu\text{g}/\text{l}$. Wir gehen von einer Korrelation zwischen Phosphatwerten und Leitfähigkeit aus, die von der Nitratkonzentra-

tion überlagert wird. Auf der Basis der gemessenen Daten schätzen wir Phosphatwerte für das Frühjahr und die Sommermonate, die zwischen 20 und 100 µg/l liegen. Nach allgemein gültiger Konvention entspricht das einem meso- (~ 30 µg/l) bis eutrophem (~100 µg/l) Status.

Zwar korreliert das zweigipflige Auftreten der Algen im Jahresverlauf (im Frühjahr und im Spätsommer bis Herbst) nicht unmittelbar mit den Phosphatwerten, doch deckt sich die vegetationsarme Winterzeit sehr gut mit den hohen Phosphatwerten. In dieser Zeit sind die Algen abgestorben und werden mineralisiert.

f) Stickstoffverbindungen

Der letztgenannte Sachverhalt trifft auch zum Teil für die drei Stickstoffquellen Ammonium, Nitrit und Nitrat zu. Die hohen Nitratwerte im September, aber vor allem die niedrigen Werte im Juli und Ende Oktober korrelieren mit dem Algenwachstum. Die hohen Nitritwerte im Frühjahr verwundern und können nur schwer als Mineralisierung von absterbenden Algen verstanden werden.

Ob die steigenden Werte von Ammonium, Nitrit und Nitrat anthropogenen Ursprungs sind (z.B. durch Fischfütterung), können wir aus Mangel an Erfahrungen mit der Deutung der absoluten Werte nicht entscheiden. Sie allein durch Algensterben zu erklären fällt uns – wie erwähnt – auch schwer. Hier bleibt eine Unsicherheit. Ein dritter Erklärungsansatz liegt in der zu erwartenden Zirkulation des Sees, die in unseren Breiten im Frühjahr und Herbst anzusetzen ist. Sie deckt sich zeitlich mit den Fluktuationen in den gemessenen Nitratwerten.

Da das Vorkommen von Blaualgen (Cyanobakterien) mit Vorbehalt festgestellt wurde und diese Organismen atmosphärischen Stickstoff fixieren können, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die erhöhten Nitratwerte in den Sommermonaten auch durch diese Mikroorganismen verursacht werden können.

Die für den Messpunkt 1/0 ausgeführten Erklärungen treffen über weite Strecken auch auf die anderen Messpunkte zu. Unterschiede findet man jedoch z.B. bei Messpunkt 2/0 in der Nitrat-Konzentration, die zwei deutliche Gipfel im September und Januar zeigt: ein Argument für das Absterben von Pflanzenmaterial, in dem der Stickstoff gespeichert war. Hierzu passt lediglich der leichte Anstieg der Leitfähigkeit in den Wintermonaten.

3.2.9 Zusammenfassende Bewertung des Sees

Über die Trophiestufen gibt der Phosphatgehalt Auskunft. Mit dem von uns verwendeten Analysenverfahren konnten in den Sommer- und Herbstmonaten lediglich Werte von > 0,1 mg/l gemessen werden. Der Anstieg in den Wintermonaten auf Werte um 0,15 mg/l, sowie der Verlauf der Leitfähigkeit und der Nitrat-Werte, lässt jedoch die Vermutung zu, dass es sich um einen See handelt, der mindestens als mesotroph einzustufen ist. Unter Umständen befindet er sich zwischen der meso- und eutrophen Stufe.

Das Algenwachstum ist zweigipflig mit Spitzenwerten im Frühjahr und im Herbst – in dieser Zeit ist der Nährstoffgehalt verständlicherweise gering, weil die Mineralien in der Biomasse akkumuliert sind.

Das nicht sicher bestimmte Vorkommen von Cyanobakterien (Blaualgen) deutet ebenfalls auf einen mindestens mesotrophen See hin⁵, da sie bei ausreichendem Phosphat-Gehalt den u.U. fehlenden Stickstoff aus der Atmosphäre aufnehmen können.

3.2.10 Vorschläge für eine Sanierung des Lindensees

Soweit wir ermitteln konnten, verfügt der Lindensee über keine Oberflächenwasser führenden Zuflüsse, die einen Erklärungsansatz für die gemessenen Phosphatwerte und die Ursache der „Algenblüten“ liefern könnten.

Inwieweit über den Schlosssee ein Phosphateintrag erfolgen kann, ist für uns nicht überprüfbar. Auch konnte von uns nicht überprüft werden, ob und wenn ja in welchem Umfang noch Quell-(Grund-)wasser dem See zugeführt wird, das als Phosphatlieferant dient.

Überprüft werden müsste, ob der Fischbestand durch Fütterung manipuliert wird. Eine Fütterung ist als eine exogene, anthropogene Phosphatquelle zu bewerten, die abgestellt werden muss, sollen erste Schritte unternommen werden, der Algenmassenentwicklung entgegenzutreten.

Möglichkeiten den Phosphat- und Nitratgehalt zu senken sehen wir in der Anlage eines bewirtschafteten Schilfpoldergürtels. Ein solches System soll primär die Nährstoffkonzentration im See in der Jahreszeit minimieren, in der Unterwasserpflanzen wachsen; langandauernde Massenentwicklungen planktischer Algen müssen vor allem in der Zeit von etwa April bis Juni verhindert werden. Durch regelmäßigen Beschnitt kann verhindert werden, dass Schilfmateriale im See verrottet und die gespeicherten Mineralien dem limnischen System wieder zugeführt werden.

Im Spätherbst beobachteten wir im Uferbereich der „Giegerich’schen“ Bucht bei einer Probenahme das massenhafte Auftreten von Fischen. Obwohl wir keine Fische fangen und bestimmen konnten, gehen wir davon aus, dass es sich um Friedfische (Karpfenartige) gehandelt hat.

Nicht zuletzt auch aufgrund dieser Beobachtung schätzen wir als aussichtsreiche restaurative Maßnahme zur Verringerung der massenhaften Entwicklung der planktischen Algen eine Biomanipulation ein, die den Fischbestand verändert.

Ziel dieser Biomanipulation muss es sein, durch Besatz und Hegebefischung den Fischbestand zu reduzieren, der sich vom filtrierenden Zooplankton ernährt.

Solche Maßnahmen lassen sich nicht ohne die Mitwirkung der Sportfischer realisieren. Um abschätzen zu können, wo die Schwerpunkte dieser Biomanipulation zu setzen sind, ist es erforderlich, Informationen über den Fischbestand zu erhalten. Dabei ist man auf die Mithilfe der Angler angewiesen. Diese Informationen müssen qualitativ über die Arten Auskunft geben und quantitativ die Häufigkeit und die Größe der gefangenen Arten liefern. Sollte sich herausstellen, dass kleinwüchsige Weißfische in hoher Individuendichte den Fischbestand dominieren, dann ist dies als Beleg für unsere These zu werten: Eine Biomanipulation über den Fischbestand ist eine aussichtsreiche Maßnahme gegen die „Algenblüte“.

⁵ Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. E. Schmidt, Universität Essen

Kleinwüchsige Weißfische üben einen starken Fraßdruck (Predationsdruck) auf bestimmte Arten des Zooplanktons (kleinere tierische Organismen) aus, so dass der Fraßdruck der Zooplankter auf das Phytoplankton gering bleibt. Die Folge ist eine phasische Massenentwicklung der Algen, die als periodisch auftretende Grünfärbung des Sees optisch sichtbar wird. Die dadurch verursachte geringe Sichttiefe führt zur Abnahme der Unterwasservegetation. Die Funktion der höheren Unterwasserpflanzen ist vielfältig: Sie fördern die Festlegung und Mineralisierung organischer Sedimente und stabilisieren den Sauerstoffgehalt. Nicht zuletzt stellen sie einen wichtigen Besiedlungsschutz für viele Arten des Makrozooplanktons dar, eben jener Arten, die das Phytoplankton in Schranken hält. Nicht unerwähnt bleiben darf die Bedeutung dieser Pflanzen für die Aufzucht der Brut vieler Raubfische.

Auch weil solche submersen größeren Pflanzen (Makrophyten) nur bei ausreichender Durchlichtung existieren können, muss eine Reduktion des Phytoplanktons erreicht werden. Den Besatz mit Graskarpfen halten wir aus den erwähnten Gründen für kontraproduktiv.

Geringer Pflanzenbewuchs wirkt sich noch auf andere Weise „positiv“ auf das Algenwachstum aus. Minderwüchsige Weißfische ertragen als euryöke Arten solchen Minderbewuchs und finden genug Fortpflanzungsmöglichkeiten, ihre Population nimmt im Vergleich zu anderen Fischarten (Raubfischen) deutlich zu, wenn der Makrophytenbestand gering ist. Aber die einzelnen Individuen dieser Populationen werden nicht groß, so dass nicht nur Jungfische, sondern auch die späteren Altersgruppen sich von dem Zooplankton ernähren, das – wie schon erwähnt – eine Eindämmung des Algenwachstums verhindern kann.

Es ist deshalb abzuwägen, ob als zusätzliche Maßnahmen Bedingungen geschaffen werden sollten, die die Fortpflanzungsmöglichkeiten des Hechtes verbessern. Diese Fischart benötigt zur Laichzeit im Frühjahr Gewässerbereiche oder Gräben, die sich schnell erwärmen und so der geschlüpften Brut günstige Entwicklungsbedingungen bieten. Solche Zonen sollten eingerichtet werden.

Eine dritte Möglichkeit der Sanierung kann bedacht werden. Da Phosphat als limitierender Faktor für das Algenwachstum angesehen werden muss, gilt es, dessen Konzentration zu vermindern. Schwierig ist dies, wenn, wie im vorliegenden Fall, die Phosphatquelle diffus ist. So lange Sauerstoff im Wasser vorhanden ist, wirkt das Seesediment als Phosphat-Falle. Nimmt im Verlaufe des Sommers der Sauerstoffgehalt in tieferen Schichten ab, z.B. wegen zunehmender anaerober Zersetzungsprozesse, geht das Phosphat, das sich im Sediment angereichert hat, wieder in Lösung und kehrt in den Kreislauf zurück – erkennbar am Zuwachs der Algenbiomasse, der See wird zum zweiten Mal im Jahreszyklus grün (mehr Algenwachstum, mehr Sauerstoffschwund, erneute Phosphatfreisetzung).

Als Maßnahme, die diesen Teufelskreis durchbrechen kann, bietet sich eine Belüftung tieferer Wasserschichten an. Erfahrungsgemäß kann diese Maßnahme nur vorübergehenden Erfolg bringen. Aber sie kann als Begleitmaßnahme zu den anderen Vorschlägen eingesetzt werden, um schneller sichtbare Veränderungen im Sinne der Problemlösung zu erreichen.

Neuere Untersuchungen zeigen eine positive Korrelation zwischen Algenwachstum und dem Eisengehalt eines Sees. Uns sind Fälle bekannt, wo die Erhöhung des Eisengehaltes zu einem Auftreten einer „Algenblüte“ in einem See führte. Da wir den Eisengehalt

nicht gemessen haben, können wir keine Aussage über die Relevanz dieses Hinweises machen. Wir halten einen erhöhten Eisengehalt für nicht sehr wahrscheinlich, schlagen aber dennoch vor, diesen Parameter untersuchen zu lassen, bzw. zu untersuchen.

Außer dieser Eisenbestimmung und der oben angesprochenen Fischbestandsuntersuchung halten wir eine Untersuchung des Zooplanktons erforderlich, um unsere These zu stützen, die davon ausgeht, dass die Reduktion der kleinen Weißfische das Problem der „Algenblüte“ lösen kann.

3.2.11 Zusammenfassung der Sanierungsvorschläge

Das Ziel der Sanierungsvorschläge ist die *Verringerung der Algenbiomasse*. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen liegt es nahe zu überlegen, ob man zur Erreichung dieses Zieles, also klaren Wassers, diejenigen biologischen Prozesse einsetzen kann, die unter natürlichen Bedingungen der Algenproduktion entgegenwirken. Da der Lindensee phasenweise klares Wasser hat, gilt es diesen Zustand zu stabilisieren.

Erfahrungsgemäß decken sich solche Klarwasser-Phasen mit der Massenentwicklung des filtrierenden Zooplanktons, der tierischen Lebensgemeinschaft des Freiwasserraumes. Sie besteht vorwiegend aus Kleinkrebsen, Rädertierchen und Ciliaten. Aus diesen Erkenntnissen kann abgeleitet werden, dass solche großen Zooplankter in der Lage sind, die Algenbiomasse zu reduzieren. Diese Zooplankter stellen jedoch eine wesentliche Ernährungsgrundlage vieler Fischarten dar – vorwiegend der kleinen Weißfische. Massives Auftreten dieser Fische reduziert demnach die „Algenfresser“ und begünstigt die massenhafte Vermehrung des Phytoplanktons.

Das Algenwachstum ist in entscheidendem Maße abhängig von der Phosphatversorgung. Die von uns gemessenen Werte deuten auf einen erhöhten Gehalt dieses Minerals hin. Wir möchten hier noch einmal darauf hinweisen, dass bei der überwiegenden Zahl der Messungen (in den Sommermonaten) die Werte $>0,1$ mg/l betrugen und wir aus den Leitfähigkeitswerten, dem pH-Wert, den Nitrat-Werten und den erhöhten Phosphatwerten im Winter (um $0,15$ mg/l) sommerliche Werte interpolierten, die zwischen $0,03$ und $0,1$ mg/l liegen sollten, also einem mindestens mesotrophen Zustand entsprechen.

Um das Algenwachstum zu reduzieren geht es darum, den Phosphor wieder zum Minimumstoff zu machen. Die Unterbindung der Phosphorzufuhr und die Elimination des Phosphors im See sind deshalb die **ersten Schritte**. Da wir eine **Phosphorzufuhr** nicht nachweisen können – mögliche Ursachen einer Zufuhr haben wir diskutiert – schlagen wir als **Phosphat-Eliminationmaßnahme** vor, an ausgewählten Uferzonen einen **Schilfpoldergürtel anzulegen und zu pflegen**, d.h. regelmäßige Mahd mit Beseitigung des Schilfes.

Als **zweite Maßnahme** empfehlen wir:

a) Eine aktuelle Fischbestandsuntersuchung, d.h.

- **qualitative Ermittlung der Fischpopulationen** über Fangquoten durch die anässigen Angler (Fried-/Raubfischarten),
- **und die quantitative Ermittlung der Häufigkeit** der Arten und die **durchschnittliche Größe** der gefangenen Individuen: Hohes Aufkommen **kleiner Weißfischenarten** zeigt an, dass der Fraßdruck auf die großen Zooplankter (Algenfresser) zu groß ist.

- b) **Eine gezielte und konsequente Hegebefischung der Weißfischbestände**, falls sich diese aus den Daten der Fischbestandsuntersuchung ableiten lässt.
- c) **Eine Förderung und Pflege von Raubfischarten** (vorwiegend **Hecht**, aber auch Barsch, Zander, Aal) durch Begünstigung von Brutgelegenheiten. Hierbei sollte unbedingt auf die Erfahrung und Mithilfe der ansässigen Angler zurückgegriffen werden.

Als **dritte Maßnahme** empfehlen wir die Untersuchung des Eisengehaltes. Da wir dieses Element nicht bestimmt haben, können wir keine Aussage dazu machen, ob dieser Förderer des Algenwachstums in überhöhter Konzentration im See vorkommt. Wir halten es nicht für sehr wahrscheinlich. Uns sind jedoch aus der Literatur Beispiele bekannt, die zeigen, dass hoher Eisengehalt Ursache von Algenblüten sein kann.

Die **vierte und letzte Maßnahme** erwähnen wir nur der Vollständigkeit wegen noch einmal: Die **Belüftung** der tieferen Wasserzonen im Spätsommer und den lokalen Austausch des Sedimentes.

Sollte die Phosphatkonzentration weiterhin hoch bleiben oder sogar noch steigen und dies trotz überzeugender Belege für die Abwesenheit anthropogener Ursachen, dann ist u.E. an eine Phosphatzufuhr über das Quellwasser zu denken. Das kann u.U. durch die Analyse aus den tiefen Seezonen eruiert werden.

Die Maßnahmen, die zusammen mit den Anglern durchgeführt werden können, (Reduktion der kleinen Weißfische und Besatz mit und Pflege von Raubfischen) sowie der Anlage von Schilfzonen räumen wir bei weitem die höchste Priorität ein.

Wie eingangs erwähnt, hat dieser Bericht, auch weil er kein ganzes Jahresprofil abdeckt, überwiegend prognostischen Charakter.

Eine Reihe von Erhebungen/Untersuchungen sollten – außer den schon aufgeführten – noch angestellt werden, um die zentrale These über die kausalen Zusammenhänge zwischen Phosphatwerten und „Algenblüten“ zu verifizieren. Dies könnte erfolgen, neben der Fortführung einiger von uns begonnener Untersuchungen, durch die

- Bestimmung des Phosphat-Gehaltes durch ein Verfahren mit erhöhter Empfindlichkeit,
- die Ermittlung der Cyanobakterienpopulation im Jahresverlauf,
- die Populationsdynamik ausgewählter Zooplankter,
- den Calciumgehalt,
- den Hydrogencarbonatgehalt.

Einsatz eines Bioreaktors

Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine sehr aktuelle Methode zur Sanierung von stehenden Gewässern. Uns ist dieses Verfahren erst gegen Ende der Messungen bekannt geworden. Zu einer Zeit also, in der wir die erste Untersuchungsphase schon abgeschlossen hatten. Erfahrungen über den Erfolg dieses Verfahrens sind uns zurzeit nicht zugänglich. Wir möchten aber bei den Autoren und Entwicklern dieses Verfahrens Erkundigungen einholen, um prüfen zu können, ob diese Methode für den Lindensee einen Lösungsansatz darstellt. Wenn die uns vorliegenden Informationen zutreffend sind, können wir – unter Bezug auf die von uns erhobenen Analysendaten – annehmen, dass es sich lohnt, dieses Verfahren im anstehenden Fall eingehend zu prüfen.

Unter diesen sich ergebenden neuen Entwicklungen sind wir an einer Fortführung der begonnen Untersuchungen und einer Ausdehnung des Programms in der oben erwähnten Weise interessiert.

3.2.12 Reflexion

Die Analyseergebnisse und die Expertise waren Argumentationsgrundlage des Seebesitzers für die erfolgreichen Verhandlungen mit dem ansässigen Anglerverein.

Die beschriebenen fachlichen Lernziele wurden alle erreicht.

3.3 MILCHVIEH ALS ABGASQUELLE FÜR DÜNGERVERWERTBARE STICKSTOFFVERBINDUNGEN

3.3.1 Fragestellung

Folgende zentrale Fragestellung bestimmte das beschriebene Projekt: Lohnt sich die landwirtschaftliche Wiederverwertung von Stallluftemissionen?

Die Emissionen aus Anlagen mit intensiv betriebener Nutztierhaltung beeinflussen bei entsprechender Konzentration das ökologische Gefüge der Region. Außerdem führt die Geruchsbelästigung der Anwohner oftmals zu Spannungen im Verhältnis zum Landwirt. Die Mitglieder eines Analytik-Grundkurses des Lichtenberg-Oberstufengymnasiums diskutierten diese Problematik mit einem Landwirt, der mit mehr als 60 Milchkühen intensive Nutztierhaltung betreibt. Dabei zeigte sich dieser besonders interessiert an den NO_x -Werten seiner Stallluft.

Der Kurs bot ihm an, die Konzentration dieses Schadgases zu ermitteln und darüber hinaus eine Abschätzung der Möglichkeiten der Beseitigung dieser Kontamination vorzunehmen. Zugleich sollte die Frage beantwortet werden, ob sich eine Wiederverwertung dieser Stickstoffquelle als Dünger lohnt.

Nach ersten Voruntersuchungen zeigte sich, dass zur Beantwortung dieser Fragen die Analyse der Ammoniak-Konzentration aussichtsreicher sein könnte als die Bestimmung der NO_x -Werte.

3.3.2 Unterrichtsmethodisches Vorgehen

Die Schülergruppe setzte sich zum Ziel, ein geeignetes Analysenverfahren zu entwickeln und seine Validität zu überprüfen. Das Verfahren sollte ermöglichen, Aussagen über die durchschnittliche Konzentration von Schadgasen im Kuhstall zu machen und somit über die stichprobenartige Erhebung, wie sie mit einem Gasspürgerät möglich ist, hinauszugehen.

Die Gruppe konnte an Erfahrungen anknüpfen, die frühere Kurse zusammengestellt hatten (z.B. im Zusammenhang mit der Analyse von Gartenerde und daraus resultierenden Düngeempfehlungen oder bei der Erstellung einer Expertise zur Restauration eines Badesees). Vor diesem Hintergrund einigten sich die Kursmitglieder auf die ihnen am besten erscheinende Methode. Diese bestand darin, eine definierte Luftmenge durch eine zu konstruierende Absorptionsanlage zu saugen und die Absorptionslösung auf die Nitrat- sowie die Ammonium-Konzentration zu analysieren.

Von diesem Verfahren versprachen sie sich eine Datenerhebung, die Schwankungen auszugleichen vermochte, welche durch Turbulenzen oder andere spontane Störungen der zu untersuchenden Parameter verursacht werden könnte. Voraussetzung war allerdings, dass die Absorption lange genug vorgenommen werden konnte. Maßanalytische und photometrische Verfahren wurden als die Methoden der Wahl zur Ermittlung der relevanten Stickstoffverbindungen angesehen.

In drei Arbeitsgruppen erarbeiteten die Mitglieder Wege des weiteren Vorgehens. Eine Gruppe hatte dabei die Aufgabe, die Details auszuarbeiten. Eine zweite Arbeitsgruppe machte sich zur Aufgabe, das Analysenverfahren auf seine Validität hin zu überprüfen. Eine dritte Gruppe hatte das Problem der Absorption zu lösen.

Es kam also eine „modifizierte Puzzle-Methode“ zur Anwendung, denn die Ergebnisse jeder Gruppe und damit der Beitrag eines jeden Kursmitglieds wurde zum essenziellen Bestandteil des Gesamtprojektes. Kompetenzen, die jeder sich aneignete, trugen in ihrer Synergie zum Gelingen des Projektes bei.

3.3.3 Didaktische Überlegungen und Durchführung

Die Aufgabenstellung ermöglichte es, dass Schülerinnen und Schüler die Anwendung verschiedener Analysenverfahren erarbeiteten und auf die Lösung der Problematik anwendeten.

Im Folgenden werden die Aufgabenstellung, die gewählten Analysenmethoden und der für die Aufgabenstellung wichtige chemische Hintergrund bei der Arbeit der drei Gruppen tabellarisch aufgeführt.

Hierbei werden ausschließlich die für die Bestimmung von Ammoniak in der Stallluft wichtigen Schritte aufgeführt. Die photometrisch und parallel dazu mit Hilfe eines Gas-spürgerätes ermittelten NO_x -Werte wurden nicht weiter verfolgt, denn die nach beiden Verfahren gefundenen Werte waren kleiner als 0,5ppm. Daher wurde die Analyse dieser Gase als im Sinne der Fragestellung nicht aussichtsreich betrachtet. Überprüft wurde dieses Verfahren durch die Analyse einer definierten Menge an NO_2 , das aus Blei-II-Nitrat freigesetzt und über Gaswaschflaschen einer definierten Menge 0,01 molarer Natronlauge zugeführt wurde. Durch Rücktitration der nicht durch die Salpetersäure und salpetrige Säure neutralisierte Natronlauge, konnte die Menge an freigesetztem NO_2 ermittelt werden. Diese Kontrolle zeigte, dass das Verfahren im Prinzip akzeptiert werden konnte, denn der zu erwartende NO_2 -Wert wurde lediglich um 2,5% verfehlt.

Arbeitsgruppe	Methode	(physiko-)chemische Hintergründe
Kalibrieren der Probenahme	Mittels einer Vakuumpumpe wurde eine definierte Luftmenge durch drei in Reihe verbundene Gaswaschflaschen (GWF) gesaugt. Absorptionslösung: 0,01 molare Chlorwasserstoffsäure. Die Kalibrierung der Pumpleistung erfolgte durch pneumatisches Auffangen des Luftausstoßes in der Zeit, parallel zur Registrierung des Durchsatzes am ungeeichten Strömungsmesser	Gasgesetze Säure-Base-Reaktionen Neutralisationsreaktionen Indikatoren Strömungsmessungen Absorption von Gasen in Flüssigkeiten
Validitätsprüfung der Analysenverfahren	Prinzip: Aus einer definierten Ammoniumchlorid-Lsg. wurde mittels 20%iger Natronlauge unter Wärmezufuhr Ammoniak in einer Gasentwicklungsapparatur freigesetzt und der Absorptionsapparatur (GWF mit 0,01 molarer Chlorwasserstoffsäure) zugeführt. Zu lösende Probleme für die Gruppe: • Volumenexpansion beim Lösen von NH_3 in Wasser • Trocknung des NH_3-Gases • Kann der theoretisch zu erwartende Wert hinreichend genau ermittelt werden? • Reichen die drei GWF zur Absorption des NH_3 aus? Wie verteilt sich die Absorption auf die drei GWF? • Wie tief müssen die Einleitrohre in die Absorptionslsg. eintauchen? • Der Wassergehalt der NH_4Cl-Einwaage war nicht bekannt. Die Trocknung bereitete Schwierigkeiten, so ermittelte eine Untergruppe die reale Konzentration der NH_4Cl-Lsg. a) Gravimetrisch über den Chlorid-Gehalt, dieser wurde als AgCl erfaßt	Stöchiometrie Fehlerberechnung MWG Verdrängungsreaktionen Gravimetrie • Löslichkeitsprodukt • Fällungsreaktionen • Gitterenergie • Hydratation • Trocknungsverfahren • Filtration mit Glasfaltertiegel • Photodissoziation Photometrie • Lambert-Beersches Gesetz • Verdünnungsreihen • Eichkurven Maßanalyse • Äquivalenzpunkt • Titrationskurven • Neutralisationsreaktionen pH-Wert Säure-Base-Reaktionen Trocknung von Gasen Disproportionierung (bei der

	b) Über die photometrische Analyse des Ammonium-Gehaltes.	Analyse des freigesetzten NO ₂
Mehrfache Durchführung der NH ₃ -Analyse im Kuhstall an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Zeiten (Ruhezeit und während des Melkens). Erstellung eines Abschlußberichtes	Die Konzentration an NH ₄ -Ionen wurde photometrisch und parallel dazu durch eine Rücktitration der überschüssigen Chlorwasserstoffsäure mittels 0,01 molarer NaOH-Lsg. ermittelt und mit dem bereinigten theoretischen Wert verglichen.	Stöchiometrie Fehlerberechnung Aspekte der Probenahme Photometrie • Lambert-Beersches Gesetz • Verdünnungsreihen • Eichkurven Maßanalyse • Äquivalenzpunkt • Titrationskurven • Rücktitration • Neutralisationsreaktionen • Indikatoren pH-Wert Säure-Base-Reaktionen

3.3.4 Reflexion

Der Abschlußbericht hat in Ansätzen den Charakter einer Expertise. Er wurde dem Landwirt in dieser Form übergeben. Die chemischen Hintergründe, die auch in der oben aufgeführten Tabelle lediglich aufgelistet sind, wurden dabei nicht beschrieben.

Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten äußerst motiviert und zielstrebig an diesem Projekt. Dazu mögen verschiedene Faktoren beigetragen haben: Zum einen kam der „Auftrag“ dazu nicht aus dem Lehrbuch, sondern aus dem „wirklichen Leben“. Die Mitglieder des Kurses mochten sich der Tatsache bewusst sein, dass ihr Auftraggeber ein Ergebnis erwartete. Zum anderen hatten sie die Fragestellung selbst mitentwickelt. Sie war überschaubar und forderte ihre Eigeninitiative heraus, einen Weg für die Lösung zu suchen. Beinahe beiläufig eigneten sie sich dabei (durch Lektüre von Fachliteratur, im Teamgespräch und im Austausch mit dem Lehrer) Wissen über Modelle der Chemie sowie über chemische Hintergründe an.

So wurde in einem Unterrichtsgang eine weite Palette chemischer Inhalte der Analytik vom MWG über die Gasgesetze, die Maßanalyse, das Löslichkeitsprodukt, die Indikatorwahl und die Gravimetrie bis hin zur Photometrie erarbeitet und in der Anwendung integriert. Jede Arbeitsgruppe hatte zum Schluss vier Stallanalysen durchgeführt und ausgewertet.

Die ermittelten Werte, d.h. der NH_4 -Gehalt der Absorptionslösung in mg/l wurde in ppm NH_3 (bezogen auf die Stallluft) umgerechnet. So konnten die eigenen Ergebnisse mit Werten verglichen werden, die durch ein anderes Verfahren (die Infrarotspektroskopie) einer Arbeitsgruppe der Universität Stuttgart-Hohenheim um Prof. Dr. Jungbluth ermittelt werden. Der Vergleich der eigenen Daten mit den Ergebnissen der Hohenheimer Gruppe zeigt, dass mit einfachen Mitteln und den entsprechenden chemischen Hintergründen Ergebnisse ermittelt werden können, wie sie auch mittels Infrarotspektroskopie erhalten werden, liegen doch die durch die Kursgruppe ermittelten Daten innerhalb der Bandbreite der Werte, die die Jungbluth-Gruppe für vergleichbare Untersuchungen publizierte.

3.3.5 Schülerbericht des Projekts

Vorbemerkung

In erheblichem Umfang trägt die landwirtschaftliche Nutztierhaltung zur Emission gasförmiger Stoffe und damit auch zur Geruchsemission in der Umwelt bei. Die Ursachen für das unterschiedliche Ausmaß dieser Emissionen sind in frei belüfteten Ställen multifaktoriell und im Wesentlichen witterungsbedingt.

Neben unterschiedlich zusammengesetzten Aerosolen treten als Emissionsgase hauptsächlich Ammoniak (NH_3), auch die klimarelevanten Gase Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2) sowie diverse Stickstoffoxide (vor allem Distickstoffmonoxid – N_2O , aber auch Stickstoffmonoxid – NO und Stickstoffdioxid NO_2) auf.

In Absprache mit einem Landwirt, der ca. 60 Hochleistungsmilchkühe besitzt, die in einem Stall mit offener Belüftung untergebracht sind, haben wir die Aufgabe übernommen, kontinuierliche Gasmessungen durchzuführen und zu überprüfen, inwieweit ausgewählte Parameter den Schadstoffgehalt der Stallluft beeinflussen. Neben der Umwelt- und Geruchsbelastung sollte die Frage untersucht werden, ob die emittierten Stickstoffverbindungen in Konzentrationen auftreten, die eine Adsorption bzw. Absorption dann wirtschaftlich werden lassen, wenn man sie in eine düngeverwertbare Form überführen kann.

Der vorliegende Bericht beschreibt eine Analysenmethode zur kontinuierlichen Erfassung von Schadgasen in Stallungen. Durch diese Methode sollte es möglich werden, den Einfluss einzelner Faktoren auf die Emission verschiedener Gase, verursacht durch die Nutztierhaltung, näher zu erfassen. Durch Interessenschwerpunkte des Landwirtes geleitet, entwickelten wir zuerst ein Verfahren zur kontinuierlichen Erfassung des NO_2 -Gehaltes.

Das Verfahren beruht letztlich auf photometrischen Analysen einer Absorptionslösung bzw. einer maßanalytischen Untersuchung. Die Validität der Methode wurde durch eine Reihe von Tests mit synthetischen Luftbeimengungen überprüft. Durch Modifikation der Methode gelang es uns, das Prinzip beibehaltend, auch das als Stickstoffquelle lukrativere Ammoniak zu erfassen.

Messmethode

Mittels einer Vakuumpumpe, deren Pumpleistung durch uns kalibriert wurde, leiteten wir ein definiertes Luftvolumen durch drei in Reihe hintereinander geschaltete Schliff-Gaswaschflaschen (GWF). Die ersten beiden waren mit einer Fritte versehen und die letzte lediglich mit einem Einleitrohr. In den ersten beiden Gaswaschflaschen befanden sich je 100ml 0.01_N NaOH-Lsg., in der letzten (GWF Nr. 3) lediglich 50 ml derselben Lösung. Die verdünnte Natronlauge diente als Absorbens für die quantitativ zu erfassenden Stickoxide.

Nach Entnahme eines aliquoten Teils der Absorptionslösung wurden durch Rücktitration mittels eingestellter 0.01_N HCL-Lsg., gegen Phenolphthalein als Indikator, der Stickoxidgehalt bezogen auf NO₂, ermittelt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die gebildeten Stickoxide mit Wasser zu Salpetersäure bzw. salpetriger Säure reagieren und diese von der Natronlauge im Überschuss neutralisiert werden.

In einem Alternativansatz wurde der NO₃-Gehalt photometrisch ermittelt.

Zur Überprüfung der Praktikabilität dieser Methode leiteten wir in einem Vorversuch ein Gemisch aus synthetisch hergestelltem Stickstoffdioxid und Luft durch die Gaswaschflaschen. Das synthetisch dargestellte NO₂ stammte aus einer definierten Menge getrockneten Blei-II-Nitrats, das in einem Verbrennungsrohr thermisch zersetzt wurde.

Die Auswertung beider Analysenverfahren ergab bei der maßanalytischen Methode einen durchschnittlichen Fehler von 4,8% bezogen auf den theoretisch zu erwartenden Wert. Der durchschnittliche Fehler des photometrischen Verfahrens lag bei drei Messungen lediglich bei 2,2% mit einer kleineren Streuung der Einzelwerte.

Aufgrund dieser Voruntersuchungen entschieden wir uns, die kommenden Messungen photometrisch durchzuführen.

Für die Überprüfung des Verfahrens bezüglich der Ammoniak-Analyse verfahren wir vergleichbar. Das synthetische Gas wurde in diesem Fall mit Hilfe einer Gasentwicklungsapparatur (vgl. Abb. 2) aus einer bei 25 °C gesättigten Ammoniumchlorid-Lösung durch Einwirkung von 20%iger Natronlauge freigesetzt und der Absorptionsapparatur zugeführt.

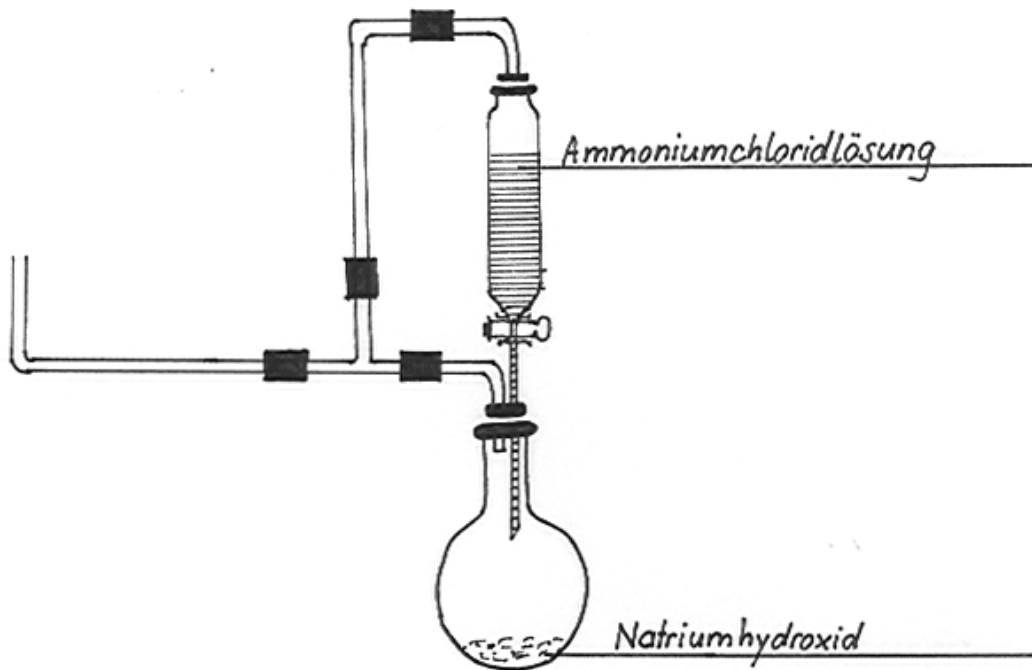


Abbildung 2: Gasentwicklungsapparatur

In diesem Fall wendeten wir zur quantitativen Erfassung des freigesetzten Ammoniaks lediglich das bewährte photometrische Verfahren an. Der mittlere Fehler lag hier bei 5,6%, wobei die Streuung klein war und wir generell weniger fanden als theoretisch zu erwarten ist. Diesen Sachverhalt führten wir auf die Schwierigkeit zurück, die Testsubstanz (Ammoniumchlorid) in geeigneter Weise zu trocknen und in eine stöchiometrisch definierte Form zu überführen. Unter Umständen reichte die vierstündige Trocknung in einem Exiccator über konzentrierter Schwefelsäure nicht vollständig aus. Messfehler von 5,6% können noch als tolerabel bezeichnet werden. Eine Wiederholung der Validitätsprüfung, unter Anwendung eines veränderten Trocknungsverfahrens der Titersubstanz, erachteten wir aus diesem Grunde nicht als erforderlich.

Für die NO_2 -Analyse stand uns zusätzlich ein Gasspürgerät zur Verfügung. Dieses erlaubt Messungen im Bereich von 0,1 bis 10ppm.

Durchführung der Messungen und Ergebnisse

Die erste Messung – eine Vorprobe – führten wir am 14.1. durch. Sowohl im Stall als auch über dem Güllesammelbecken erhoben wir den Gehalt für NO_x mittels eines Gasspürgerätes. Das Ergebnis: In beiden Fällen der Probenahme 0,2 ppm. Diese Werte sind so gering, dass eine weitere Verfolgung dieses Gases uns nicht sinnvoll erschien. Die anschließenden Analysen beziehen sich deshalb ausschließlich auf Ammoniak.

Probenahme

Die Probenahme erfolgte unter standardisierten Bedingungen, d.h. entweder über einem Liegeplatz, der mit Stroh aufgefüllt war, oder über dem „Flur“, einem mit Exkrementen mehr oder weniger stark verschmutzten mit Platten belegten Weg zwischen den Boxen. In diesem „Flurbereich“ wird zweimal pro Tag in den Morgen- und Abendstunden die Gülle mit einem Schieber beseitigt. Der Ansaugschlauch ist 100 cm lang, hat einen lich-

ten Durchmesser von 5mm, besteht aus Polyethylen und besitzt einen Hahn, der nach der Probenahme verschlossen wird, um eine weitere Belüftung vermeiden zu können. Der Ansaugschlauch wird so befestigt, dass er 50 cm über dem Boden hängt. Diesen Wert zu standardisieren erscheint uns wichtig, besitzt trockenes Ammoniak mit 0,75g/l doch ein deutlich geringeres Litergewicht als trockene Luft (1,29g/l) unter Normalbedingungen, was eine Ungleichverteilung im Raum nicht ausschließt, und befindet sich der Ammoniak-Produktionsort doch unzweifelhaft auf dem Stallboden. Diese diametral entgegengesetzten Phänomene verlangen eine konsequente Einhaltung des Modus zur Probenahme.

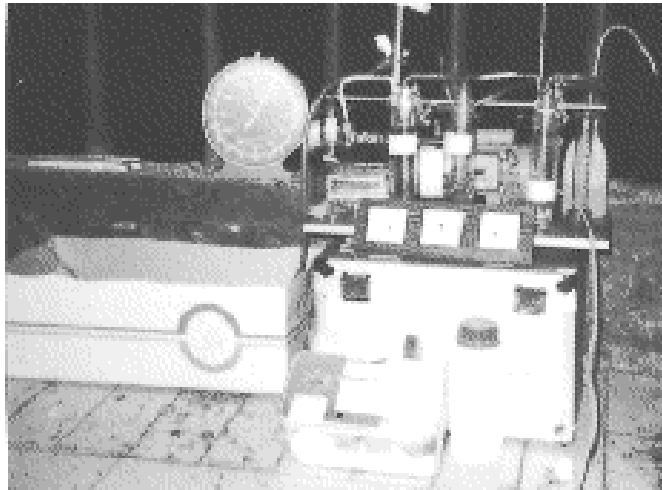


Abbildung 3: Die Messapparatur während einer Probenahme

Aus Untersuchungsergebnissen der Universität Stuttgart-Hohenheim, die mittels IR-Spektrometrie gewonnen wurden, war uns bekannt, dass mit Werten zwischen 20 und 100 g/h und 1000 m³ gerechnet werden kann. Diese Daten zugrundelegend und die eingestellte Pumpleistung unserer Vacuumpumpe berücksichtigend (384 l/min), leiteten wir für jeweils 26 min. die zu untersuchende Stallluft durch die Gaswaschflaschen und führten anschließend sofort die photometrische Ammoniak-Analyse durch.

Anmerkungen zum Stall

Der Stall verfügt über eine Schachtlüftung nach dem Prinzip der Schwerkraftlüftung. Der Schacht befindet sich mit seiner Oberkante ca. 8 m über dem Boden, so dass bei windigem Wetter mit merklichem Kamineffekt gerechnet werden kann. An der Ostseite des Stalles befinden sich in ca. 2 m Höhe über eine Länge von 23 m ca. 30 cm hohe Belüftungsfenster, die ganztägig geöffnet sind, so dass bei Wind Luftbewegung im Stall bemerkbar ist. Zwei Toröffnungen nach Norden und Süden sind mit einer Fläche von jeweils ca. 10 m² ganztägig geöffnet.

Wo kommen die Schadgase her?

Ammoniak wird mit großer Sicherheit aus den Exkrementen freigesetzt.

Methan entsteht durch Fermentationsprozesse aus dem Pansen.

CO₂ wird durch die Atmung der Tiere freigesetzt und kann auch zusätzlich mikrobiellen Ursprungs sein.



Messergebnisse

Messung	Temp. [°C]	Feuchte [%]	Luftdruck [bar]	Windgeschwin- digkeit [m/sec]	Bewegung der Tiere/Messort	Uhrzeit	NH ₄ -Gehalt HCL [mg/l]	NH ₄ -Gehalt GWF 1 [mg/l]	NH ₄ -Gehalt GWF 2 [mg/l]	NH ₄ -Gehalt GWF 3 [mg/l]
24.3.	15	80	720	00	gering/ Flur	16 ⁰⁰	0	3,4	>0,1	unter der Nachw.- Grenze
24.3.	15	80	720	00	gering/ Box	16 ⁰⁰	0	2,2	>0,1	unter der Nachw.- Grenze
25.3	21	80	715	0-1	gering/ Flur Tür of- fen	16 ⁰⁰	>0,1	2,8	0,2	unter der Nachw. - Grenze
25.3.	21	80	715	0-1	gering/ Box Tür of- fen	16 ⁰⁰	>0,1	2,0	0,1	unter der Nachw.- Grenze
26.3.	16	86	728	1	während des Mel- kens: Tierbe- we- gung/Bo x	18 ³⁰	0	0,8	>,1	unter der Nachw.- Grenze
26.3.	16	86	728	1	während des Mel- kens: Tierbe- wegung/ Flur	18 ³⁰	0	1,8	>,1	unter der Nachw.- Grenze
27.3.	13	98	728	2	leichte Tierbe- wegung/ Flur	16 ⁰⁰	0	2,5	0,1	unter der Nachw.- Grenze
27.3.	13	98	728	2	leichte Tierbe- wegung/ Flur	16 ⁰⁰	0	1,8	0,1	unter der Nachw.- Grenze

Auswertung

Ein gemessener NH₃-Gehalt vom 3,4 mg/l entspricht unter den Bedingungen der Probe-
nahme (Durchsatz von 100 Litern Luft, bei 100ml Absorptionsmedium) einer NH₃-
Luftkonzentration von 3,4 ppm. Die von uns gemessenen Werte liegen damit im Be-
reich von 0,8 bis 3, 4 ppm. Dabei finden sich höhere Werte

- a) über Gülle im „Flur“,
- b) bei geringerer Außenwindbewegung,
- c) während stärkerer Mobilität der Tiere.

Der von allen Werten erhobene Mittelwert beträgt 2,2 ppm. Auf das Stallvolumen extrapoliert bedeutet das einen NH_3 -Gehalt von 9,5 g. Unter Normalbedingungen nimmt diese Ammoniakmenge ein Volumen von 12,5 Liter ein.

Diskussion der Ergebnisse

Aus den wenigen Daten, die uns bis jetzt vorliegen, kann im Ansatz geschlossen werden:

1. Die Menge des oxidierten Stickstoffs und des als Ammoniak vorliegenden Stickstoffs lohnt sich nicht zur Gewinnung von flüssigem Stickstoffdünger.
2. Die Menge an emittiertem Ammoniak scheint mit der Fläche der verschmutzten Bodenoberfläche positiv zu korrelieren. Über Stroh ist die gemessene NH_3 -Konzentration geringer als über Gülle und verschmutzter Stalloberfläche (über dem Flur).
3. Stärkere Luftbewegungen im Stall, u.U. durch eine größere Aktivität der Tiere z.B. zu Zeiten des Melkens oder durch Belüftung, kann zu Veränderungen der NH_3 -Emission führen.

Hier ist allerdings noch zu klären, ob eine inhomogene NH_3 -Verteilung mit höheren Konzentrationen in den oberen Regionen vorliegt, die durch eine verstärkte Mobilität der Tiere zu Zeiten des Melkens zu höheren Konzentrationen in den tieferen Stallzonen führt. Könnte dies nachgewiesen werden, so stünden diese Befunde nicht in Übereinstimmung mit Befunden der Universität Stuttgart-Hohenheim. Dort wird behauptet, dass die Ammoniak-Emission positiv korreliert mit der Belüftung. Dies ist einsehbar, wenn eine definierte Menge an Schadgas vorhanden ist und durch intensivere Konvektionsströme stärker verteilt wird als bei Windstille. Denkbar ist allerdings auch eine Gleichgewichtseinstellung zwischen Freisetzung aus den Exkrementen und vorhandenem Luftvolumen als „Lösungsmittel“. Befindet sich die Ammoniakkonzentration der Luft jedoch weit entfernt von der Sättigungsgrenze und damit vom Gleichgewicht, kann eine Zunahme der Konzentration an der Messstelle auch durch Homogenisierung des Mediums Luft erklärt werden. Zur Klärung dieser Fragen bieten sich Probenahmen in unterschiedlichen Stall-Höhenzonen an.

Diese Untersuchungen sind von Belang für die Klärung der Frage: Wie kann die Geruchsbelästigung durch Schadgasemissionen – verursacht von intensiver Nutztierhaltung – reduziert werden.

Bei höheren Temperaturen sollte aus thermodynamischen Gründen die Ammoniak-Emission zunehmen. Ein solcher Temperatur-Effekt konnte nicht festgestellt werden. So fanden wir bei niedrigen Temperaturen von 15-16 °C den höchsten und den niedrigsten Ammoniakwert, während bei 21 °C – der höchsten gemessenen Temperatur während der Probenahme – lediglich Durchschnittswerte gefunden wurden. Dies erklären wir mit der geringen Temperaturdifferenz.

Generell ist jedoch anzumerken, dass durch die geringe Anzahl der Messwerte eine verlässliche Aussage über eine Beziehung von Umweltparametern auf die Ammoniak-Emission noch nicht hergestellt werden kann. Bei jeder Probenahme herrschten in dieser nicht manipulierbaren Freiland-Versuchssituation leicht veränderte Bedingungen vor. Eine verlässliche Korrelation zwischen den vorliegenden Witterungsbedingungen und der Ammoniak-Emission verlangt somit eine viel größere Datenmenge.

Eine solche Korrelation herzustellen war jedoch vorerst nicht unser Ziel. Vielmehr bestand es darin, neben der Entwicklung eines verlässlichen Messverfahrens plausibel zu machen, ob es sich lohnt, das emittierte Ammoniakgas zu absorbieren und einer landwirtschaftlichen Verwendung zu zuführen. Beide Aufgaben sehen wir durch die vorliegende Arbeit als erfüllt an.

Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen

Untersuchungen, die von der Universität Stuttgart-Hohenheim durchgeführt worden sind, haben ergeben, dass bei Langzeitmessungen mit Infrarotspektroskopie Ammoniakwerte gemessen wurden, die zwischen den Extremwerten $20 \text{ g/hm}^3 \text{ NH}_3$ und $100 \text{ g/hm}^3 \text{ NH}_3$ liegen, bei einem Luftvolumenstrom von 28000 m^3 (vgl. Abb.3, S.38).

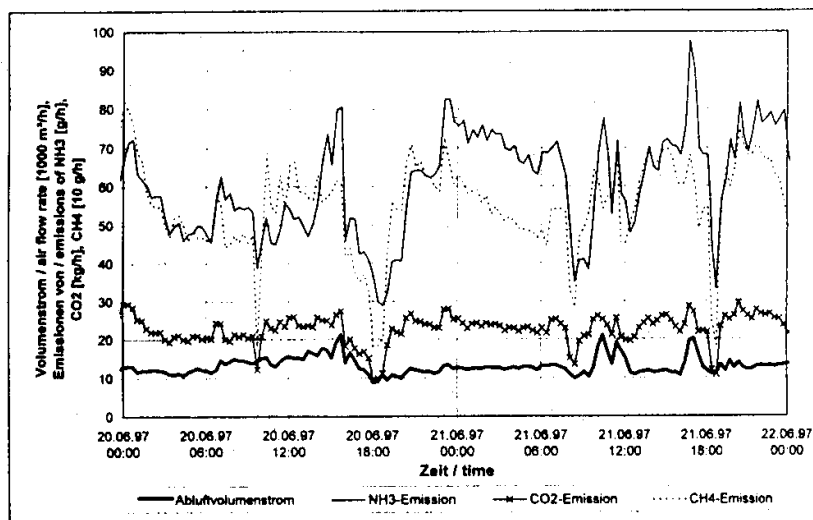


Bild 3: Tageszeitlicher Verlauf des Volumenstroms und der Emissionen

Fig. 3: Course of the day of flow rate and emissions

Abbildung 4: Tageszeitlicher Verlauf verschiedener Schadgasemissionen (aus: Brose, G., Hartung, E., Jungbluth, T.: Geruchs- und Spurengasemission eines Milchviehstalles, Landtechnik, 53. Jahrgang, Heft 1)

Rechnet man unsere Ergebnisse in diese Einheit um, so erhält man z.B. für $2,8 \text{ mg/m}^3$ den Wert von 78 g NH_3 ; einen Wert, der im oberen Drittel der Werte liegt, die auch von der Universität Stuttgart-Hohenheim gefunden wurden – unter vergleichbaren Bedingungen der Tierhaltung.

Eine Alternativbetrachtung zeigt, dass die von uns gefundenen Werte im Bereich von 0,8 bis 3.4ppm liegen. Epinatjeff et al (1997) geben Ammoniakkonzentrationen von 2

bis 10 ppm an, wobei die tieferen Werte zu Zeiten der Fütterung bei offenem Stall auftreten. Hier sei daran erinnert, dass der Beck'sche Stall ganztägig offen steht.

Durch einen vorübergehenden Defekt an der Vakuumpumpe, haben sich die kontinuierlichen Messungen sehr verzögert. So liegen bis jetzt nur wenige Werte vor. Es ist aus diesem Grunde zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich, ein abschließendes Urteil abzugeben.

Der Schwerpunkt unserer bisherigen Arbeit lag in der Entwicklung eines brauchbaren Analysenverfahrens zur Schadgasemissionsmessung in Ställen mit intensiver Nutztierhaltung.

Uns haben sich nun, da erste Messergebnisse vorliegen, eine Reihe von Fragen aufgetan, die wir verfolgen wollen. So z.B.:

1. Hat die Ernährung (Mast) der Tiere einen Einfluss auf die NH_3 -Emission?
2. Welche Rolle spielt die Stalltemperatur?
3. Welche Rolle spielt die Luftbewegung
 - a) bezüglich der Strömungsgeschwindigkeit,
 - b) der Luftführung (direkt über dem Boden, wo die Ammoniak-Freisetzung erfolgt oder in höheren Regionen)?
4. Wie verteilt sich das Schadgas im Raum (unterschiedliche Höhen)?
5. Welche Möglichkeiten gibt es, die NH_3 -Emission zu verringern?
6. Welche Rolle spielt die Nutztierart? Und welche Möglichkeiten bieten sich an, die Ergebnisse zu vergleichen?

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei Familie Beck am Geisberg in Hammersbach/Langenbergheim. Sie haben uns alle Untersuchungen problemlos und kooperierend ermöglicht. Dem diplomierten Landwirt Walter Beck sei besonderen Dank ausgesprochen für seinen ebenso spontanen, wie übersichtlichen Einführungsvortrag über Probleme der Nutztierhaltung.

Er war uns darüber hinaus bei der Beschaffung sehr aktueller und schwer zugänglicher Fachliteratur behilflich, die Untersuchungsergebnisse der Universität Stuttgart-Hohenheim darlegt. Diese zeigen uns, dass wir mit unseren Messergebnissen – gleichwohl mit einem anderen Messverfahren als die Agrarwissenschaftler – auf dem richtigen Weg sind.

3.3.6 Literatur

-  Brose, G., Hartung, E., Jungbluth, T.: 1998: Geruchs- und Spurengasemission eines Milchviehstalles, Landtechnik, 53. Jahrg. Heft 1

- 📖 Brose, G., Hartung, E., Jungbluth, T.: 1998 : Abgasquelle Milchvieh: Landpost 39/1998
- 📖 Umweltrecht in der Agrartechnik bzw. landw. Tierproduktion. Agrartechnik Hohenheim, VTP 43-225 Ha/Ke/La Keine weiteren Angaben
- 📖 Epinatjeff, P., Beck, P., Jungbluth, T., Scheuble, A., 1998 Landtechnik, 52. Jahrgang, 6/97
- 📖 Dickerson/Gray/Haigt: 1978: Prinzipien der Chemie, de Gruyter
- 📖 Holleman/Wieberg: 19976: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, de Gruyter
- 📖 Adam/Läuger/Stark: 1980: Physikalische Chemie und Biophysik, Springer
- 📖 Atkins, P.: Physikalische Chemie, Spektrum

4 AUTORENTEAM

Andrea Görz (Fächer Englisch und Biologie)

Ewald Jae (Fächer Biologie und Chemie)

Erhard Müller (Fächer Biologie und Chemie)

Werner Neidhardt (Fächer Mathematik und Physik)

Reinhard Stürmer (Fächer Geografie und Musik)

Burkhard Toilié (Fächer Biologie und Sport)

alle:

Georg-Christoph-Lichtenberg-Oberstufengymnasium Bruchköbel

Pestalozzistraße 1

63486 Bruchköbel

Reiner Mathar

Hessisches Landesinstitut für Pädagogik

Schuberstraße 60 H15

35392 Gießen

E-Mail: r.mathar@help.hessen.de

Das bundesweite BLK-Programm „21“ – Bildung für eine nachhaltige Entwicklung und seine Koordinierungsstelle in Berlin

Das BLK-Programm „21“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), der Bund-Länder-Kommission (BLK) für Bildungsplanung und Forschungsförderung und den 15 beteiligten Bundesländern initiiert. An dem auf fünf Jahre angelegten Programm beteiligen sich seit 1999 rund 200 Schulen. Durch Kooperationen und Partnerschaften sind die Schulen in regionale und länderübergreifende Netze eingebunden, deren Zusammensetzung, Struktur und Arbeitsweise innerhalb des Programms ebenfalls gefördert und entwickelt wird. Ziel ist eine Erweiterung der Schulbildung, um die Bildung für eine nachhaltige Entwicklung in der schulischen Regelpraxis zu verankern.

Das Programm hat dabei nicht allein den Transfer von Informationen zur Aufgabe, sondern auch, ganz im Sinne von sustainability – hier übersetzt mit Zukunftsfähigkeit –, die Entwicklung von Schlüsselqualifikationen, die unter dem Begriff der „Gestaltungskompetenz“ zusammengefasst wurden.

Der Erwerb von Gestaltungskompetenz für eine nachhaltige Entwicklung soll im BLK-Programm „21“ auf Basis von drei Unterrichts- und Organisationsprinzipien verwirklicht werden:

Interdisziplinäres Wissen knüpft an die Notwendigkeit „vernetzten Denkens“ an, das Schlüsselprinzip der Retinität, der Vernetzung von Natur und Kulturwelt und der Entwicklung entsprechender Problemlösungskompetenzen. Ziel ist u. a. die Etablierung solcher Inhalte und Arbeitsformen in die Curricula.

Partizipatives Lernen greift die zentrale Forderung der Agenda 21 nach Teilhabe aller gesellschaftlichen Gruppen am Prozess nachhaltiger Entwicklung auf. Dieses Prinzip verweist auf eine Förderung lerntechnischer und lernmethodischer Kompetenzen und verlangt eine Erweiterung schulischer Lernformen und -methoden.

Das Prinzip **Innovative Strukturen** geht davon aus, dass die Schule als Ganzheit bildungswirksam ist und Parallelen zu aktuellen schulischen Reformfeldern wie Schulprogrammentwicklung, Profilbildung, Öffnung der Schule usw. thematisiert.

Besonders die strukturelle Verankerung der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung kann als eine der Voraussetzungen für das strategische Ziel des Programms – *Integration in die Regelpraxis und Verstetigung* – gelten. Die Koordinierungsstelle für das gesamte Programm ist an der Freien Universität Berlin angesiedelt und übernimmt folgende Aufgaben:

Unterstützung und Beratung der Ländern, Herausgabe von Materialien, Angebot übergreifender Fortbildungen, Programmevaluation und Verbreitung der Programminhalte.

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an:

FU Berlin BLK-Programm „21“ Koordinierungsstelle
Arnimallee 9, 14195 Berlin
Tel. 030 - 838 52515
Fax 030 - 838 75494
E-Mail: info@blk21.de
www.blk21.de

Gefördert durch:

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung und die Länder Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen.

Feedback-Bogen für Lehrerinnen und Lehrer zum Werkstattmaterial „Gemeinwesenorientiertes Lernen in der Gymnasialen Oberstufe“



Bitte an folgende Adresse schicken:

**BLK-Programm „21“
Koordinierungsstelle
Freie Universität Berlin**

**Arnimallee 9
D-14195 Berlin**

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

Sie halten hier ein Werkstattmaterial aus dem BLK-Programm "21" in den Händen und haben es vielleicht schon in der ein oder anderen Form ausprobiert. Nun interessiert uns Ihre Meinung dazu! Um die vorliegenden Materialien zu verbessern und konkrete Hinweise zu Einsatzmöglichkeiten geben zu können, bitten wir Sie um die Beantwortung der folgenden Fragen. Falls Sie mit dem Platz nicht auskommen, benutzen Sie bitte ein Zusatzblatt!

1) In welchem Zusammenhang haben Sie das Material eingesetzt? (z.B. um andere Kollegen für das Programm zu interessieren, in der Lehrerfortbildung oder bei der Elternarbeit; bei unterrichtsbezogenen Materialien: Schultyp, Klassenstufe, Unterrichtsfach, Projekte, zeitlicher Umfang)

2) Welche Anbindungsmöglichkeiten bieten die Rahmen-/Lehrpläne Ihres Bundeslandes für den Einsatz des Materials?

3) Haben Sie das Material vollständig oder in Teilen eingesetzt? Welche Teile?

4) Wie beurteilen Sie das Material allgemein? (z.B. hinsichtlich der fachlichen Qualität, der Zielgruppenspezifität, der Praxistauglichkeit, der Anschaulichkeit und Motivierung, den Mitgestaltungsmöglichkeiten für Schülerinnen und Schüler im unterrichtlichen Einsatz...)

5) Gab es Teile, die Ihnen besonders gut gefallen haben? Wenn ja, wo lagen die Stärken?

6) Wo traten bei der Umsetzung Probleme und Stolpersteine auf?

7) Was sollten wir bei den Materialien verändern oder verbessern?

8) Würden Sie die Materialien anderen Kolleginnen und Kollegen weiterempfehlen?

☐ Ja

☐ Ja, aber nur die Teile...

☐ Nein

9) Welche weiteren Handreichungen und Materialien wären für Ihre Arbeit hilfreich?

Wenn Sie möchten, geben Sie uns Ihre Telefonnummer und Adresse an, damit wir uns ggf. noch einmal bei Ihnen melden können. Diese Angaben sind natürlich freiwillig.

Wir danken Ihnen für die Unterstützung!

Feedback-Bogen für Schülerinnen und Schüler zum Werkstattmaterial „Gemeinwesenorientiertes Lernen in der Gymnasialen Oberstufe“

Bitte an folgende Adresse schicken:

**BLK-Programm „21“
Koordinierungsstelle
Freie Universität Berlin
Arnimallee 9**

D-14195 Berlin



Liebe Schülerin, lieber Schüler,

du hast im Unterricht mit Materialien aus dem BLK-Programm "21" – Bildung für eine nachhaltige Entwicklung gearbeitet. Nun interessiert uns deine Meinung dazu! Um die vorliegenden Materialien zu verbessern, bitten wir dich um die Beantwortung der folgenden Fragen. Falls du mit dem Platz nicht auskommst, lege bitte weitere Blätter bei!

1) Welche Themen hast du im Unterricht kennen gelernt?

2) Hast du mit dem Materialien etwas Neues gelernt? Wenn ja, was war neu?

3) Konntest du den Unterrichtsstoff mit Hilfe der Materialien gut verstehen und lernen?

4) Gab es Teile, die dir besonders gut gefallen haben? Wenn ja, welche?

5) Haben dich die Materialien zur Mitarbeit motiviert?

6) Wo hattest du Schwierigkeiten und Probleme beim Lernen? Wie haben dir dein/e Lehrer/in bzw. deine Mitschüler/innen geholfen?

7) Was sollten wir bei diesen Unterrichtsmaterialien anders machen?

8) Worüber würdest du in diesem Themenbereich gerne mehr wissen?

Wenn du möchtest, gib uns deine Telefonnummer und Adresse an, damit wir uns ggf. noch einmal bei dir melden können. Diese Angabe ist natürlich freiwillig.

Wir danken dir für die Unterstützung!