



# Wasser und Nachhaltigkeit

Theoretische Klausur

7. Dezember 2017

Lies die "PRÜFUNGSREGELN" und die "HINWEISE ZUR BEARBEITUNG"  
gewissenhaft durch!



**Radboud Universiteit**



Hogeschool



van Arnhem en Nijmegen

**slo**

## PRÜFUNGSREGELN

1. Du darfst KEINE persönlichen Dinge außer Deiner Wasserflasche, persönlicher Medikamente oder angemeldeter medizinischer Hilfsmittel in den Prüfungsraum mitbringen.
2. Du musst an dem für Dich bestimmten Tisch sitzen.
3. Überprüfe, ob die von den Organisatoren zur Verfügung gestellten Materialien (Stift, Taschenrechner, Geodreieck und Notizpapier) vollständig sind.
4. Beginne NICHT mit der Bearbeitung der Aufgaben, bevor das STARTSIGNAL gegeben wird.
5. Während der Prüfung darfst Du den Prüfungsraum nur in Notfällen verlassen und auch dann nur in Begleitung einer Prüfungsaufsicht.
6. Hebe Deine Hand, wenn Du auf die Toilette musst.
7. Störe andere Teilnehmende NICHT während der Prüfung. Falls du Hilfe brauchst, hebe Deine Hand und warte, bis eine Aufsicht führende Person zu Dir an den Platz kommt.
8. Es werden KEINE Fragen oder Diskussionen zu den Aufgabenstellungen zugelassen. Auch wenn Du mit der Bearbeitung deiner Klausur fertig bist, musst Du an Deinem Tisch sitzen bleiben, bis die Prüfungszeit zu Ende ist.
9. Am Ende der Prüfungszeit gibt es ein STOPPSIGNAL. Nach diesem Signal darfst Du NICHTS mehr in Deinen Antwortbogen eintragen.  
Hinterlasse Dein Aufgabenblatt, deinen Antwortbogen sowie die zur Verfügung gestellten Materialien (Stift, Taschenrechner, Geodreieck und Notizpapier) ordentlich abgelegt auf Deinem Tisch. Verlasse Deinen Platz NICHT, bevor nicht alle Antwortbögen eingesammelt worden sind.

## HINWEISE ZUR BEARBEITUNG

1. Nach dem STARTSIGNAL stehen Dir 3 Zeitstunden zur Bearbeitung der gesamten Klausur zur Verfügung.
2. Benutze NUR den Kugelschreiber und den Bleistift, die Dir von den Organisatoren zur Verfügung gestellt wurden.
3. Überprüfe, ob Dein Name, Dein Code und Deine Nation auf den Seiten des Antwortbogens stehen und unterschreibe alle Seiten des Antwortbogens. Hebe Deine Hand, wenn Du keinen Antwortbogen hast.
4. Der Antwortbogen umfasst inklusive der Titelseite 19 Seiten. Hebe Deine Hand, wenn Dir Seiten fehlen sollten.
5. Lies die Aufgaben gewissenhaft durch und schreibe Deine Antworten in die entsprechenden Boxen auf dem Antwortbogen.
6. Nur der Antwortbogen wird bewertet. Bevor Du Deine Antworten endgültig in den Antwortbogen einträgst, nutze das Dir zur Verfügung gestellte Notizpapier um Fehler auf dem Antwortbogen zu vermeiden.
7. Die Anzahl an möglichen Punkten ist für jede Aufgabe einzeln ausgewiesen.
8. Es gibt insgesamt 27 Aufgaben. Überprüfe nachdem das STARTSIGNAL gegeben wurde, ob Deine Aufgabenseiten vollständig sind (insgesamt 14 Seiten: Seite 5 - Seite 18). Hebe Deine Hand, wenn Dir Seiten fehlen.
9. Hilfreiche Informationen zur Beantwortung der Aufgaben (Atommassen, Konstanten und Gleichungen) findest Du auf Seite 4.
10. Schreibe Deine Berechnungen immer auf. Sollte die Berechnung nicht vorhanden sein, gibt es für die Aufgabe keine Punkte.
11. Beachte bei den Ergebnissen die angemessene Anzahl an Nachkommastellen bzw. signifikanten Stellen.

## ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Die ersten zwanzig Elemente des Periodensystems mit den entsprechenden relativen Atommassen							
H 1,008							He 4,003
Li 6,941	Be 9,012	B 10,81	C 12,01	N 14,01	O 16,00	F 19,00	Ne 20,18
Na 22,99	Mg 24,31	Al 26,98	Si 28,09	P 30,97	S 32,06	Cl 35,45	Ar 39,95
K 39,10	Ca 40,08						

### Konstanten

Fallbeschleunigung:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Universelle Gaskonstante:  $R = 8,3145 \text{ J/(mol K)}$

### Gleichungen

Kreisfläche:  $A = \pi r^2$

Kreisumfang:  $C = 2\pi r$

Volumen:  $V = Ah$

Dichte:  $\rho = \frac{m}{V}$

Druck:  $p = \frac{F}{A}$

Wärme:  $Q = mc\Delta T$

Leistung:  $P = \frac{E}{t}$

Potentielle Energie:  $E_p = mgh$

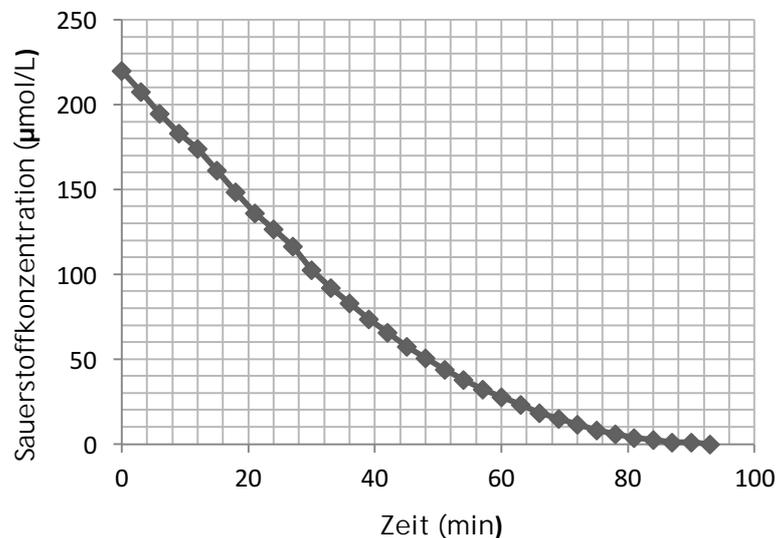
Ohmsches Gesetz:  $U = IR$

# Biologie-Aufgaben

## Pflanzen in Überschwemmungsgebieten

Pflanzen, die in den Überschwemmungsgebieten der großen niederländischen Flüsse wachsen, werden regelmäßig überschwemmt. Komplett überflutete Pflanzen können Sauerstoff (für die aerobe Atmung) aus dem Umgebungswasser aufnehmen. Da aber Sauerstoff im Wasser  $10^4$ -mal langsamer diffundiert als in der Luft, können diese Pflanzen vermehrt unter Sauerstoffmangel leiden.

Um dies experimentell zu untersuchen, wird eine Pflanze in einer geschlossenen, mit Wasser gefüllten Box in kompletter Dunkelheit platziert. Unter ständigem Rühren wird die abnehmende Sauerstoffkonzentration in der Box gemessen. Das folgende Diagramm zeigt die Abnahme der Sauerstoffkonzentration in der Box in Abhängigkeit von der Zeit. Das Diagramm ist auch im Antwortbogen gegeben.



1. (1,2 Punkte) Nutze das im Antwortbogen gegebene Diagramm, um die maximale (aerobe) Atmungsrate der überfluteten Pflanze (in  $\mu\text{mol}/\text{min}$ ) zu ermitteln. Gehe dazu von einem Volumen der Box von 1,2 L aus. Kennzeichne im Diagramm, wie Du zu Deiner Antwort gekommen bist. Gib Deine Antwort mit zwei signifikanten Stellen an.

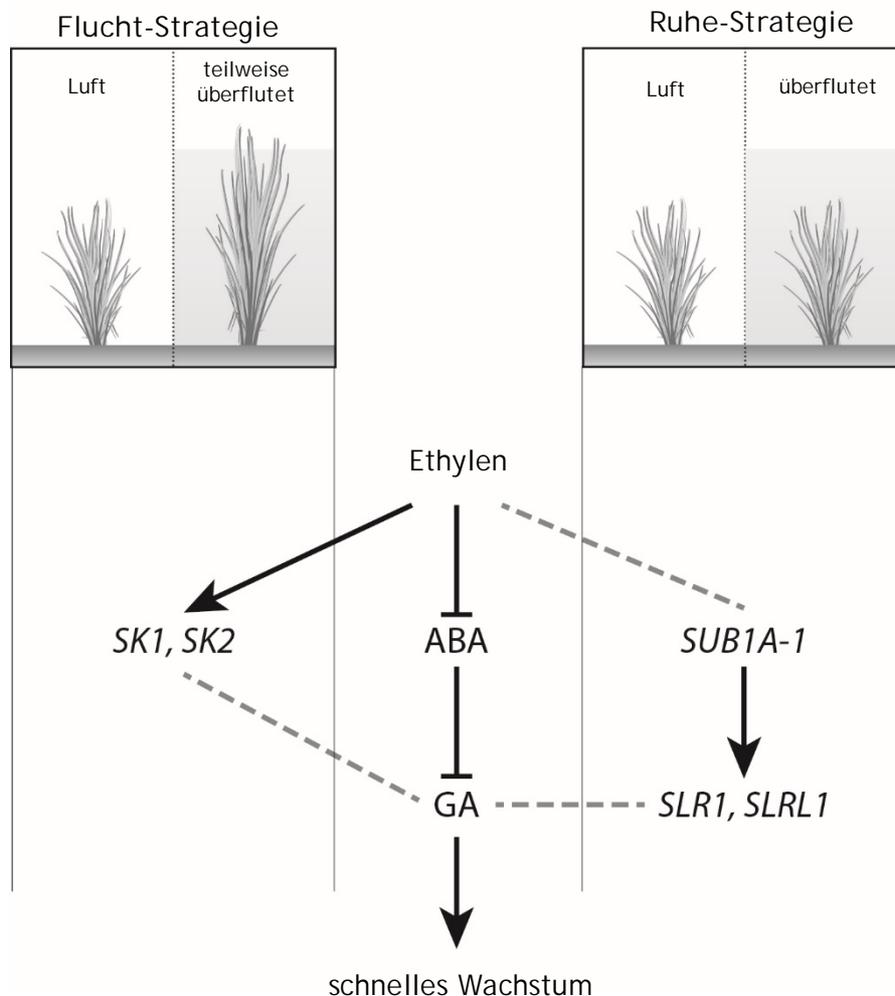
Wird die Pflanze in der Box mit frischem Wasser überflutet und diesmal unter einer starken Lampe platziert, so ändert sich die Sauerstoffkonzentration über die Zeit nicht. Dies ist durch die Fotosynthese unter Wasser bedingt.

2. (0,4 Punkte) Wie hoch ist die Sauerstoffproduktionsrate durch Fotosynthese in der Pflanze unter Wasser?

Manche Pflanzen wie Reis (*Oryza sativa*) können sich schnell an eine Überflutung anpassen, indem sie ihr Wachstum regulieren. Zwei der durch Reis angewandten Strategien sind in der folgenden Abbildung gezeigt: Entweder erfolgt schnelles Wachstum, bis die Pflanze teilweise aus dem Wasser ragt („Flucht-Strategie“); oder das Wachstum wird eingestellt, um Energie und Sauerstoff zu sparen, bis das Wasser sinkt („Ruhe-Strategie“). Die Abbildung ist auch im Antwortbogen gegeben.

Das Wachstum wird über die Pflanzenhormone Gibberelinsäure (GA), Abszisinsäure (ABA) und Ethylen reguliert (siehe Abbildung). Ethylen als gasförmiges Hormon diffundiert schlecht in Wasser, ist aber stark flüchtig in Luft. Einige der in die Regulation involvierten Gene sind *SK1* und *SK2* sowie *SUB1A-1*, *SLR1* und *SLRL1*. Es ist bekannt, dass eine Überexpression von *SLR1* unter normalen Bedingung zu Zwergwuchs führt.

3. (1,2 Punkte) Vervollständige die fehlenden Interaktionen für beide Strategien, indem Du die Enden der drei gestrichelten Linien ergänzt. Nutze eine Pfeilspitze (→) für eine verstärkende Wirkung oder ein stumpfes Ende (—) für eine abschwächende Wirkung.

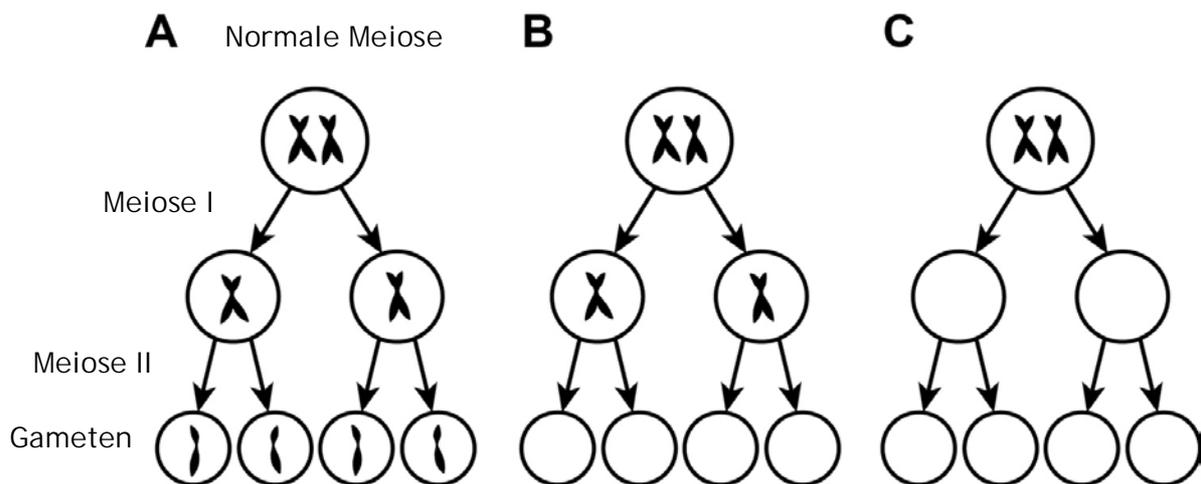


## Austern

Die europäische Auster (*Ostrea edulis*) ist an der niederländischen Küste heimisch. Die Austern werden zum Verzehr geerntet. Allerdings leiden sowohl die Austernpopulation als auch ihre Erträge unter Infektionen durch den Protisten *Bonamia ostreae*. Ein Lösungsansatz für dieses Problem besteht im Einsatz von triploiden Austern. Diese wachsen schneller, sind früher geschlechtsreif und dabei resistenter gegenüber der genannten Infektion.

Triploide Austern besitzen einen dreifachen Chromosomensatz. Neben der Zucht im Labor können sie auch auf natürlichem Weg durch eine fehlerhafte Meiose entstehen: Statt Gameten mit einem einfachen Chromosomensatz können Gameten mit einem doppelten Chromosomensatz entstehen. Wenn diese Gameten von normalen Gameten befruchtet werden, entstehen triploide Individuen.

In der folgenden Abbildung zeigt Spalte A die normale Meiose am Beispiel eines Chromosomenpaars. Daneben existieren zwei grundlegend verschiedene Möglichkeiten, wie eine fehlerhafte Meiose zur Triploidie führen kann.



4. (1,2 Punkte) Gib die zwei grundlegend verschiedenen Möglichkeiten fehlerhafter Meiose in Spalte B und C des Antwortbogens an. Zeichne dafür Chromosomen/Chromatiden ein oder lass die Kreise leer. In Spalte B ist die Meiose I bereits angegeben.

Der Protist *B. ostreae* lebt im Inneren der Haematozyten (Zellen des Immunsystems) der Austern und verursacht deren Absterben. Dies führt schlussendlich zum Tod der Austern. *B. ostreae* kann außerhalb der Austern zwar überleben, sich aber nicht vermehren.

5. (0,8 Punkte) Wie kann man die Interaktion zwischen Auster und *B. ostreae* bezeichnen? Wähle für jede der beiden Arten deren Rolle aus der nachfolgenden Liste aus:
- |                  |             |
|------------------|-------------|
| I. Kommensale    | IV. Parasit |
| II. Endosymbiont | V. Räuber   |
| III. Wirt        | VI. Beute   |

Ein Austernzüchter leidet unter der Infektion seiner Austernzucht mit *B. ostreae*. Er möchte wissen, wie stark sich seine Ernte durch den Einsatz triploider Austern steigern lässt. Um dies zu untersuchen, erstellt er ein Modell der Interaktion zwischen der Auster *O. edulis* und *B. ostreae* in seinem mit dem Meer verbundenen Zuchtbereich.

Die Änderung der Größe der Austern-Population pro Tag beträgt:

$$\frac{\Delta N_O}{\Delta t} = aN_O - bN_O - cN_ON_B$$

Die Änderung der Größe der *B. ostreae*-Population pro Tag beträgt:

$$\frac{\Delta N_B}{\Delta t} = pN_ON_B - qN_B$$

Dabei steht  $N_O$  für die Anzahl der Austern *O. edulis* und  $N_B$  für die Anzahl an *B. ostreae*, sowie  $t$  für die Zeit in Tagen. Die Buchstaben  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $p$  und  $q$  sind positive Variablen in der Einheit "pro Tag" ( $d^{-1}$ ).

6. (0,8 Punkte) Wofür stehen die Variablen  $p$  und  $q$ ? Wähle aus den folgenden Beschreibungen:

- |  |  |
|--|--|
| I. Geburtenrate der Austern <i>O. edulis</i>       | IV. Geburtenrate der Protisten <i>B. ostreae</i>     |
| II. Einwanderungsrate der Austern <i>O. edulis</i> | V. Einwanderungsrate der Protisten <i>B. ostreae</i> |
| III. Sterberate der Austern <i>O. edulis</i>       | VI. Sterberate der Protisten <i>B. Ostreae</i>       |

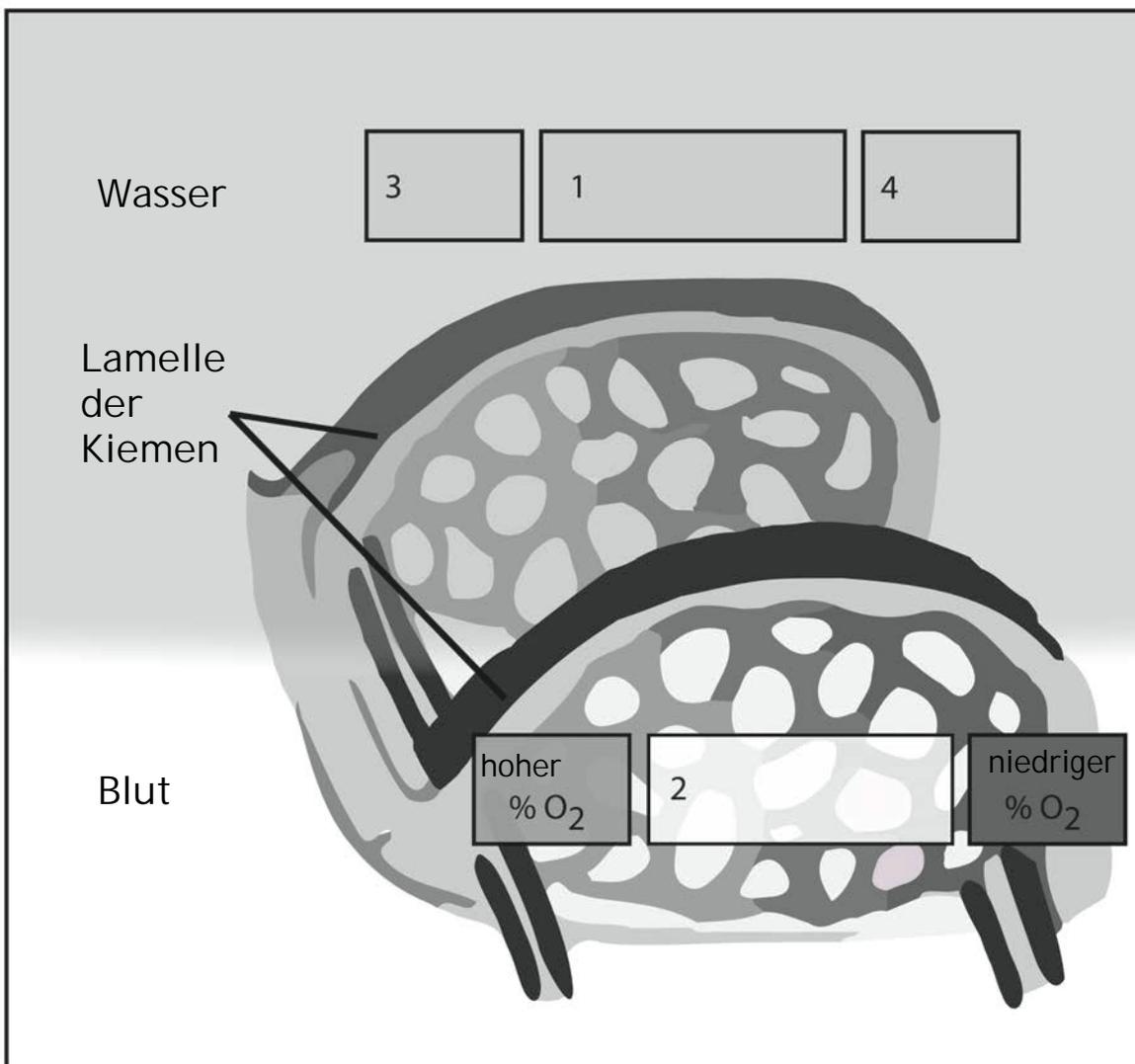
7. (1,2 Punkte) Welche der Variablen  $a$ ,  $b$  und  $c$  unterscheiden sich (basierend auf den gegebenen Informationen) bei triploiden Austern und diploiden Austern? Nutze zum Ausfüllen der Tabelle auf dem Antwortbogen „+“ wenn die Variable bei triploiden Austern größer ist, „-“ wenn die Variable bei triploiden Austern kleiner ist und „o“ wenn die Variable bei triploiden Austern gleich ist oder keine Informationen vorhanden sind.

## Osmose in Fischen

Fische nutzen ihre Kiemen zum Gas- und Ionenaustausch; sie atmen mit ihren Kiemen. Um einen ausreichenden Austausch zu gewährleisten, funktionieren Kiemen nach dem Gegenstromprinzip und die Fische bewegen das Wasser aktiv durch ihre Kiemen. Dabei sind die Epithelzellen der Lamellen der Kiemen in direktem Kontakt mit dem umgebenden Wasser.

8. (1,2 Punkte) Die untenstehende Abbildung zeigt schematisch die Blutkapillaren in den Lamellen der Kiemen eines Fisches. Gib Folgendes jeweils in der Abbildung auf dem Antwortbogen an:

- In Kasten 1: Zeichne einen horizontalen Pfeil in Richtung der Wasserströmung;
- In Kasten 2: Zeichne einen horizontalen Pfeil in Richtung der Blutströmung;
- In Kasten 3 und 4: Kennzeichne die  $O_2$ -Konzentration im Wasser. Nutze „H“ für einen hohen  $O_2$ -Anteil und „L“ für einen niedrigen  $O_2$ -Anteil.



9. (0,8 Punkte) Welche Folgen hätte es für einen Süßwasserfisch, wenn er NICHT in der Lage wäre, seine Wasseraufnahme und -exkretion zu regulieren? Vervollständige den folgenden Satz, indem Du für I, II, III und IV die richtige Box auf dem Antwortbogen ankreuzt.

Wenn ein Süßwasserfisch, der seine Wasseraufnahme nicht regulieren kann, in einem Fluss schwimmt, ....(I).... seine Zellen. Im Gegensatz dazu regulieren Süßwasserfische ihren Wassergehalt, indem sie ....(II).... trinken und indem sie ....(III).... Mengen eines ....(IV).... Urins produzieren.

Die Auswahlmöglichkeiten für I, II, III und IV sind:

- |     |                  |      |              |
|-----|------------------|------|--------------|
| I   | „schwellen“      | oder | „schrumpfen“ |
| II  | „viel“           | oder | „sehr wenig“ |
| III | „große“          | oder | „kleine“     |
| IV  | „konzentrierten“ | oder | „verdünnten“ |

## Anammox

Das Antibiotikum Penicillin kann zur Bekämpfung bakterieller Infektionen genutzt werden. Es greift in die Zellwandbiosynthese ein, speziell inhibiert es die Biosynthese von Peptidoglykan. Bisher wird davon ausgegangen, dass die Zellwand anaerober Ammonium-oxidierender Bakterien (kurz: Anammox-Bakterien) kein Peptidoglykan enthält. Wird einem Bioreaktor mit einer gemischten Kultur aus Anammox-Bakterien und anderen Bakterien ein penicillinhaltiges Medium zugeführt, sinkt die Zahl der Anammox-Bakterien dennoch. Die Anammox-Bakterien sind von essentiellen Nährstoffen abhängig, die durch die anderen Bakterien verfügbar gemacht werden.

Zur Erklärung der oben beschriebenen Beobachtungen wurden drei Hypothesen aufgestellt:

- I Die Zellwände der Anammox-Bakterien enthalten Peptidoglykan.
- II Penicillin schädigt die anderen Bakterien der gemischten Kultur.
- III Die Membranen der Anammox-Bakterien zeigen Strukturen, die den Angriffspunkten des Penicillins ähneln und durch dieses gestört werden.

10. (1,2 Punkte) Ordne jeder der genannten Hypothesen (I - III) den experimentellen Ansatz (A - C) zu, mit dem die Hypothese überprüft werden kann. Entscheide für jeden Ansatz, welches Ergebnis Du erwartest, wenn die getestete Hypothese wahr ist.

Kreise auf dem Antwortbogen jeweils einen Buchstaben und eine Zahl pro Hypothese ein.

Experimentelle Ansätze:

- A. Züchten der Anammox-Bakterien in Reinkultur unter Zugabe aller essentiellen Nährstoffe und Penicillin
  - Erwartung 1: Wachstum der Kultur
  - Erwartung 2: Kein Wachstum der Kultur
- B. Testen der Anammox-Bakterien-Zellwand auf Peptidoglykan
  - Erwartung 1: Zellwand enthält Peptidoglykan
  - Erwartung 2: Zellwand enthält kein Peptidoglykan
- C. Test auf Bindung von Penicillin an Anammox-Bakterien-Zellwände mittels Fluoreszenzmikroskopie
  - Erwartung 1: Fluoreszenzmarkiertes Penicillin bindet an die Zellwände
  - Erwartung 2: Fluoreszenzmarkiertes Penicillin bindet nicht an die Zellwände

# Chemie-Aufgaben

## Wasser und der Kampf gegen Legionellen

Im März 1999 erkrankten mehr als 200 Personen an der Legionärs-Krankheit, nachdem sie eine Blumenausstellung in Bovenkarspel in den Niederlanden besucht hatten. Sie hatten aus Springbrunnen freigesetzte kleine Wassertröpfchen eingeatmet, die mit Bakterien des Stammes *Legionella* verseucht waren. Mehr als 30 Personen starben in Folge dieses Krankheitsausbruchs.

Legionellen kommen häufig in den Wasserleitungen größerer Gebäude vor.

Die Aktivität der Legionellen wird normalerweise in „cfu“ (colony forming units) ausgedrückt. Wasser mit einem Wert von unter 100 cfu/L kann dabei als sicheres Trinkwasser betrachtet werden. Aufgrund der dramatischen Folgen eines Legionellenausbruchs wie in Bovenkarspel wird intensiv an der Bekämpfung der Legionellen geforscht. Im Folgenden werden drei Methoden betrachtet.

### Erhitzen

Das Leitungswasser wird für eine bestimmte Zeit auf Temperaturen über 60 °C erhitzt. Um auszudrücken, wie schnell die Bakterien dabei sterben, wird häufig der D-Wert (D-Value) genutzt. Der D-Wert beschreibt die Zeit, innerhalb der 90 % der Bakterienpopulation bei gegebener Temperatur gestorben sind. Durch das Absterben der Bakterien sinkt die Populationsgröße exponentiell.

Der D-Wert für Legionellen bei 60 °C beträgt 5 min.

11. (1,2 Punkte) Berechne die Zeit, die mindestens benötigt wird, damit Wasser, das mit 1 200 cfu/L verseucht ist, durch Erhitzen auf 60 °C zu sicherem Trinkwasser wird. Gib die Antwort in Minuten an und runde das Ergebnis auf eine Nachkommastelle.

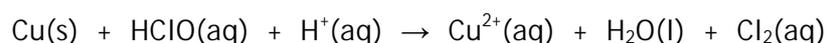
### Chlorung

Bei dieser Methode wird dem Leitungswasser Hypochlorige Säure HClO zugefügt. Hypochlorige Säure ist eine schwache Säure mit einer Säurekonstanten von  $K_S = 4,0 \cdot 10^{-8}$ . Der pH-Wert des Wassers ist beim Einsatz dieser Methode wichtig, da die antibakterielle Wirkung von HClO stärker ist als die von  $\text{ClO}^-$ . Der pH-Wert muss also derart eingestellt sein, dass für die Konzentrationen c gilt:  $c(\text{HClO}) > c(\text{ClO}^-)$ .

12. (1,6 Punkte) Berechne, bei welchem pH-Wert  $c(\text{HClO}) > c(\text{ClO}^-)$  gilt und kreuze auf dem Antwortbogen an, ob es sich dabei um den Mindest- oder Maximal-pH-Wert handelt.

Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass Hypochlorige Säure als Oxidationsmittel wirken kann und dabei das Kupfer in den Wasserrohren oxidiert.

Das unbalancierte Reaktionsschema der Reaktion von Hypochloriger Säure mit dem Kupfer der Wasserrohre lautet:



Es handelt sich um eine Redox-Reaktion.

13. (1,2 Punkte) Gib die ausbalancierten Reaktionsschemata der Halbreaktionen sowie das ausbalancierte Reaktionsschema der Gesamtreaktion an.

### Kupfer-Silber-Ionisation

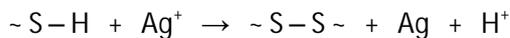
Eine verhältnismäßig neue Methode im Kampf gegen Legionellen ist die sogenannte Kupfer-Silber-Ionisation. Dabei werden Kupfer-Ionen ( $\text{Cu}^{2+}$ ) und Silber-Ionen ( $\text{Ag}^+$ ) durch Elektrolyse im Wasserleitungssystem erzeugt. Beide Ionen werden an derselben Elektrode erzeugt.

14. (0,8 Punkte) Die Abbildung einer Elektrolysezelle ist auf dem Antwortbogen gegeben. Kreise in dieser Abbildung die Elektrode ein, an der die Kupfer-Ionen und Silber-Ionen erzeugt werden.

Zeichne ebenfalls Pfeile ein, die die Richtung des Elektronenstroms angeben.

Innerhalb der Bakterien können die Silber-Ionen mit den  $\sim\text{S}-\text{H}$ -Gruppen von Proteinen reagieren. Eine mögliche Reaktion der Silber-Ionen mit den  $\sim\text{S}-\text{H}$ -Gruppen ist dabei die Bildung von Disulfid-Brücken  $\sim\text{S}-\text{S}\sim$ . Diese Reaktion führt zu einer Denaturierung der Proteine und bewirkt dadurch den Tod der Bakterien.

Das unbalancierte Reaktionsschema der Bildung von Disulfid-Brücken durch  $\text{Ag}^+$ -Einfluss lautet:



15. (0,8 Punkte) Gib das ausbalancierte Reaktionsschema an.

Silber-Ionen können mit  $\sim\text{S}-\text{H}$ -Gruppen innerhalb derselben Proteinkette reagieren oder aber mit  $\sim\text{S}-\text{H}$ -Gruppen in anderen Proteinketten.

Bei Proteinen unterscheidet man in Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur.

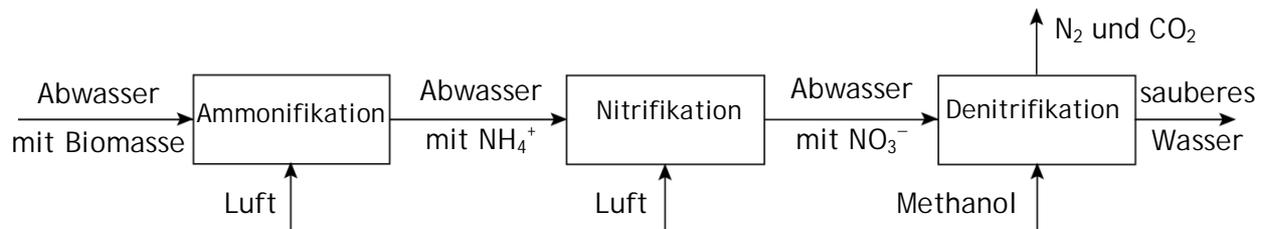
16. (0,4 Punkte) Auf welcher dieser Strukturebenen findet eine Veränderung statt, wenn Silber-Ionen mit den  $\sim\text{S}-\text{H}$ -Gruppen innerhalb derselben Proteinkette reagieren? Kreuze das entsprechende Kästchen auf dem Antwortbogen an.

## Abwasseraufbereitung

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Freisetzung von stickstoffhaltigen Verbindungen in die Umwelt durch Prozesse in der Landwirtschaft, Industrie und im Haushalt zugenommen. Eine Folge dieser übermäßigen Stickstofffreisetzung ist die Eutrophierung des Oberflächenwassers. Um eine zu hohe Stickstoffbelastung zu verhindern, muss Abwasser entsprechend aufbereitet werden.

Abbildung 1 zeigt das Schema konventioneller Abwasseraufbereitung.

Abb. 1

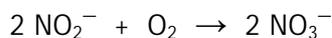


Ammonifikation ist der Vorgang, in dem Biomasse oxidiert wird. Die stickstoffhaltigen Verbindungen werden dabei zu Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) umgewandelt.

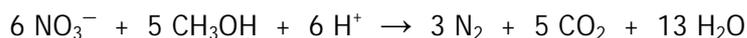
In der Nitrifikation wird Ammonium dann durch nitrifizierende Bakterien über Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) zu Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) umgewandelt. Die Reaktionsschemata lauten:



gefolgt von:



Denitrifikation ist die Umwandlung von Nitrat zu ungefährlichem Stickstoff-Gas ( $\text{N}_2$ ). Methanol wird dabei als Reduktionsmittel benötigt. Die Denitrifikation ist ebenfalls ein bakterieller Prozess. Das Reaktionsschema lautet:



Die Belüftung des Abwassers durch Pumpen ist der energieaufwändigste Vorgang der Abwasseraufbereitung. Im Durchschnitt werden 3 kWh benötigt, um 1 kg Sauerstoff durch das Abwasser zu pumpen. Der Strompreis in den Niederlanden beträgt 0,19 € pro kWh.

17. (1,2 Punkte) Berechne die jährlichen Kosten (in Euro) für die Belüftung der Nitrifikations-Reaktoren, in denen das Abwasser der Stadt Nijmegen konventionell aufbereitet wird.

Nijmegen hat 175 000 Einwohner. Nach der Ammonifikation werden pro Person und pro Tag 11,4 g (= 0,632 mol) Ammonium-Ionen im Abwasser gemessen. Nimm an, dass der Sauerstoff bei der Nitrifikation vollständig umgesetzt wird.

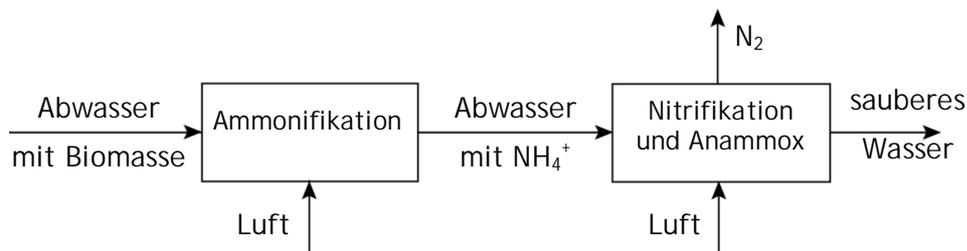
Die konventionelle Abwasseraufbereitung wird zunehmend unrentabel und aufgrund des hohen Energiebedarfs, des Ausstoßes von Treibhausgasen und der hohen Betriebskosten den Grundsätzen der Nachhaltigkeit nicht mehr gerecht.

Der Anammox-Prozess ist ein neues Aufbereitungssystem zur Entfernung von Stickstoff aus dem Abwasser. Dabei werden durch anaerobe Ammonium-oxidierende Bakterien (Anammox-Bakterien) Ammonium-Ionen und Nitrit-Ionen in Stickstoff-Moleküle umgewandelt. Die Anammox-Bakterien werden in einem Reaktor gemeinsam mit

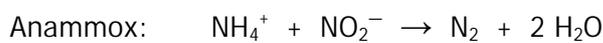
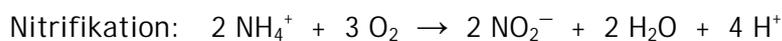
nitrifizierenden Bakterien gezüchtet, die Ammonium zu Nitrit oxidieren. Der Anammox-Prozess ist ein innovatives und nachhaltiges System, das vermehrt weltweit bei der Abwasseraufbereitung eingesetzt wird.

Abbildung 2 zeigt das Schema der Abwasseraufbereitung durch den Anammox-Prozess.

Abb. 2



Die Reaktionsschemata lauten:



Verglichen mit konventioneller Abwasseraufbereitung ist der Sauerstoffverbrauch beim Einsatz des Anammox-Prozesses wesentlich niedriger.

18. (1,6 Punkte) Berechne die prozentuale Abnahme des Sauerstoffbedarfs pro Mol Ammonium im Anammox-Prozess im Vergleich zur konventionellen Abwasseraufbereitung. Runde das Ergebnis auf eine ganze Zahl.

Alle in dieser Aufgabe beschriebenen Prozesse sind Teil des natürlichen Stickstoff-Kreislaufs, der üblicherweise mit der Fixierung von Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) in der Biomasse beginnt. Eine unvollständige Abbildung des Stickstoff-Kreislaufs ist auf dem Antwortbogen gegeben. Darin sind die Ammonifikation durch „Amf“ und die Fixierung von Stickstoff durch „Fix“ bereits gekennzeichnet.

19. (1,2 Punkte) Vervollständige die Abbildung des Stickstoff-Kreislaufs auf dem Antwortbogen.

- Ergänze und beschrifte alle fehlenden Pfeile
- Ergänze  $\text{NO}_2^-$  und  $\text{NO}_3^-$  an den entsprechenden Stellen
- Ergänze alle genannten Vorgänge wie folgt:
  - Anammox durch „Amx“
  - Denitrifikation durch „Den“
  - Nitrifikation durch „Nit“

# Physik-Aufgaben

## Windenergie

In einem Windrad wird die kinetische Energie der strömenden Luft in elektrische Energie umgewandelt. Die kinetische Energie der Luft, die pro Sekunde an den Flügeln des Rotors vorbeiströmt (Leistung), ist gegeben als:

$$P = \frac{1}{2} A \rho v^3$$

Dabei gilt (siehe Abbildung 1):

- $P$  ist die Leistung der Luft (in W), die durch die Querschnittsfläche  $A$  strömt.
- $A$  ist die Querschnittsfläche des Rotors, die von den Flügeln überstrichen wird und senkrecht auf der Windrichtung steht (in  $\text{m}^2$ ).
- $\rho$  ist die Dichte der Luft (in  $\text{kg}/\text{m}^3$ ).
- $v$  ist die Geschwindigkeit des Windes (in  $\text{m}/\text{s}$ ).

Zum betrachteten Zeitpunkt ist  $v = v_0$  und  $P = P_0$ .

20. (0,4 Punkte) Wie groß ist  $P$  (in W), wenn die Windgeschwindigkeit  $2v_0$  ist? Drücke dein Ergebnis durch  $P_0$  aus.

Von einem Windrad kann nur ein Teil der kinetischen Energie des Windes in Rotationsenergie des Rotors umgesetzt werden. Nach dem Betz'schen Gesetz ist der Wirkungsgrad dieser Umwandlung 59 %.

Außerdem geht Energie bei der Umwandlung von der Rotationsenergie des Rotors in elektrische Energie verloren. Für einen speziellen Bautyp von Windrädern ist der Wirkungsgrad dieser Umwandlung 70 %.

Die Flügel der Windräder überstreichen eine Kreisfläche mit einem Durchmesser von 80 m. Die Dichte von Luft beträgt  $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$  und die Windgeschwindigkeit ist  $36 \text{ km}/\text{h}$ .

21. (1,6 Punkte) Berechne die maximale elektrische Leistung (in W), die von einem solchen Windrad erzeugt werden kann.

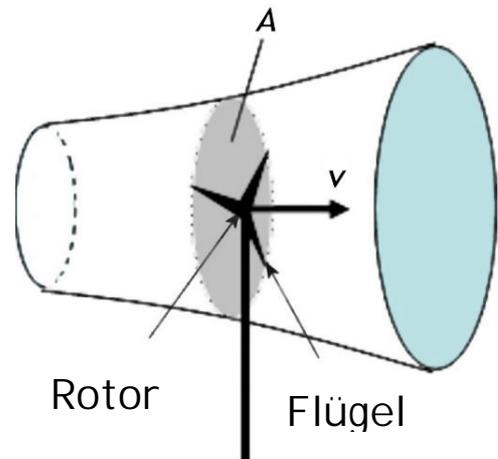


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Windrades

Die niederländische Regierung hat einen Plan entworfen, um ein off-shore Wasserreservoir im Meer zu bauen (siehe Abbildung 2). Dieser Plan für einen künstlichen See heißt Lieveense-Plan.

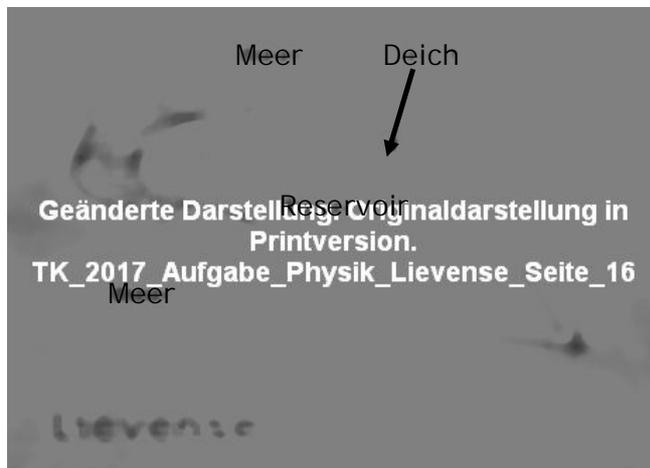


Abb. 2: Künstliches off-shore Wasserreservoir

Der Wasserspiegel des Reservoirs, das von einem Deichring eingeschlossen wird, liegt deutlich unter dem Meeresspiegel. Die Windräder werden oben auf dem Deichring aufgestellt. Bei ausreichender Windstärke pumpen diese Windräder Wasser aus dem Reservoir ins Meer. Andererseits ist das System darauf ausgerichtet, dass bei schwachem Wind Wasser vom Meer durch Turbinen im Deich in das Reservoir läuft. Diese Turbinen treiben Generatoren an und erzeugen damit elektrische Energie. Abbildung 3 zeigt dazu eine Übersicht.

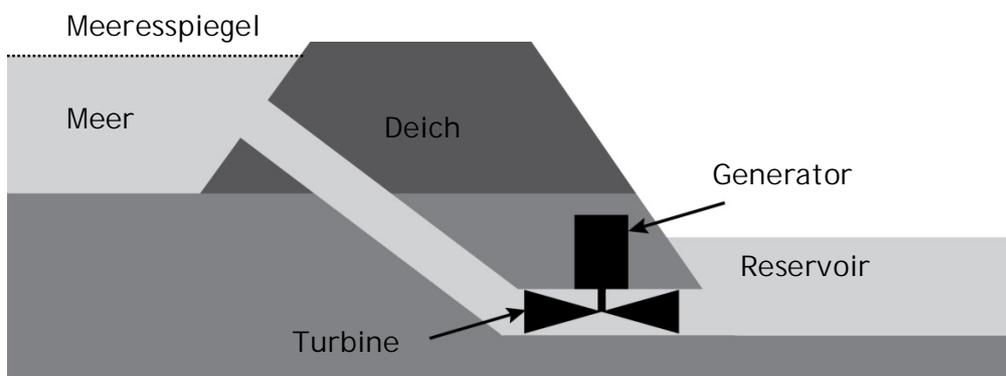


Abb. 3: Übersicht über die Funktionsweise eines künstlichen Wasserreservoirs

Die Höhe des Wasserspiegels kann zwischen 32,0 m und 40,0 m unter dem Meeresspiegel variieren. Um den Wasserspiegel von seinem höchsten auf seinen niedrigsten Stand zu senken, müssen die Windräder  $3,3 \cdot 10^{11}$  kg Wasser vom Reservoir ins Meer pumpen. Nimm an, dass die Ufer des Reservoirs senkrecht sind und die Höhe des Meeresspiegels konstant bleibt.

22. (1,2 Punkte) Berechne die Fläche des Sees in  $\text{m}^2$ . Die Dichte von Meerwasser ist  $1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

Auf dem Deich werden 75 Windturbinen eines anderen Bautyps aufgestellt, die jeweils eine durchschnittliche Leistung von 5,0 MW haben.

23. (2,0 Punkte) Berechne, wie viele Stunden alle Windräder gemeinsam benötigen, um den Wasserspiegel im Reservoir vom höchsten auf den niedrigsten Stand zu senken.

Nun kann man sich fragen, welchen Nutzen so ein Windpark hat. Grundsätzlich könnte die elektrische Energie der Windräder auch direkt ins Stromnetz eingespeist werden. Trotz dessen und trotz der enormen Kosten eines solchen Projektes gibt es viele Vorteile dieses Windparks. Auf dem Antwortbogen sind einige Argumente aufgelistet.

24. (1,2 Punkte) Kreuze im Antwortbogen für jedes der Argumente an, ob es ausschließlich für den Bau dieses Typs Windpark spricht (JA) oder nicht (NEIN). Betrachte dies im Gegensatz zu einem Windpark am gleichen Ort, der nur aus Windrädern besteht, die die elektrische Energie direkt ins Stromnetz einspeisen. Du bekommst Punkte für falsche Antworten abgezogen, kannst aber auch nichts markieren (kein Punktabzug). Die minimale Punktzahl für diese Teilaufgabe beträgt 0 Punkte.

## Platz für den Fluss

Der Fluss Waal hat bei Nijmegen eine scharfe Biegung. Bei extrem hohem Wasserstand ist diese Stelle ein Flaschenhals, der das Abfließen des Wassers erschwert. Ein Entlastungskanal wurde parallel zum Hauptstrom angelegt, um dieses Problem zu umgehen (siehe Abbildung 1).

Der Einfachheit halber nehmen wir an, dass der Kanal eine rechteckige Querschnittsfläche hat. Die Breite wird mit  $W$  und die Tiefe wird mit  $D$  bezeichnet (in m, siehe Abbildung 2). Wenn die Tiefe wesentlich kleiner als die Breite ist, ergibt sich die Wassermenge, die pro Sekunde durch den rechteckigen Kanal fließt, aus der folgenden Gleichung:

$$Q = \frac{A}{n} D^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Gleichung 1}$$

Dabei gilt:

- $Q$  ist das Wasservolumen, das pro Sekunde durch den Kanal fließt (in  $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $A = W \cdot D$  ist die Querschnittsfläche des Wassers im Kanal (in  $\text{m}^2$ );
- $n$  ist ein Parameter, der den Wasserwiderstand beschreibt;
- $S$  ist das Gefälle des Flusses (in  $\text{m}/\text{m}$ ).

25. (0,8 Punkte) Benutze Gleichung 1, um die Einheit von  $n$  herzuleiten.

Für den Kanal in Nijmegen ist  $S = 0,50 \text{ m}/\text{km} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}/\text{m}$  und  $W = 200 \text{ m}$ . Direkt nach der Fertigstellung hatte  $n$  den Wert 0,018. Beim höchsten Wasserstand des Flusses Waal bei Nijmegen ist  $Q_{\text{Waal}} = 1,4 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

26. (1,2 Punkte) Berechne die minimale Tiefe des Kanals (in m), die benötigt wird, um beim höchsten Wasserstand mindestens 10 % des Wassers in der Waal abzuführen.

Nach einiger Zeit ist der Grund des Kanals zum Teil bewachsen. Dadurch wird der Wert von  $D$  um 1 % verringert. Als Folge des Bewuchses verändert sich außerdem der Wert  $n$  von 0,018 zu 0,022. In der Konsequenz kann der Kanal beim höchsten Wasserstand nicht mehr 10 % des Wassers in der Waal abführen.

27. (1,6 Punkte) Berechne die neue Kapazität in % des Wassers in der Waal, die der Kanal abführen kann.



Abb. 1: Geländeblick auf den Kanal und den Hauptstrom.



Abb. 2: Schematischer Aufbau des Kanals.