

#### 4. Wasser & Umwelt - Exkursion (2022)



## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	3
Exkursionsteilnehmer.....	4
Exkursionsprogramm.....	5
Exkursionsroute.....	6
David Weber	Kläranlage Hamburg (HamburgWasser) ..... 8
Till Messerschmidt	Nord-Ostsee-Kanal (Schleusenbaustelle), Brunsbüttel ..... 10
Marleen Landes	Gebrauchtwarenkaufhaus "KaufBar", Büdelsdorf ..... 12
Florian Fischer	Kompostierungs- und Biogasanlage (AWR), Borgstedt..... 14
Tobias Lange	Carbonisierungsanlage (Carbo-FORCE GmbH), Borgstedt .... 16
Christoph Lehmann	Fjord & Bælt, Kerteminde (DK) ..... 18
Luisa Ernst	Radtour Green Copenhagen (DK)..... 20
Raphael Reichle	Starkregenmanagement Kopenhagen (IB Rambøll) ..... 22
Lea Schwendemann	Abfallverbrennungsanlage Kopenhagen (Copenhill A/S) ..... 24
Hannes Erhardt	Baustelle Erdbeckenspeicher, Høje Taastrup (DK) ..... 26
Lucy Kraus	DTU Windtunnel/Turbinenteststand, Roskilde (DK) ..... 28
Vera Weber	Fernwärme Præstø (DK)..... 30
Yoanna Kaisler	Baustelle Tunnel Fehmarnbelt (Femern A/S), Rødby (DK).... 32
Jens Bleyer	Deponie Ihlenberg (IAG - Ihlenberger Abfallentsorgung) .... 34
Exkursionsimpressionen .....	36

## Vorwort

Nach 2 Jahren Corona-Pause stellten die Kollegen Prof. Dach (Umwelttechnik), Prof. Meng (Wasserbau und Wasserwirtschaft), Prof. da Silva (TGA, Erneuerbare Energien) und Prof. Knoll (Siedlungswasserwirtschaft) wieder ein Exkursionsprogramm zu ihren Themengebieten zusammen.

Teilnehmer der nunmehr **4. Wasser & Umwelt - Exkursion** waren Studierende der Bachelor- und Master-Studiengänge "Bauingenieurwesen" (Vertiefung Wasser/Verkehr), des Bachelor-Studiengangs "Umwelttechnik und Ressourcenmanagement" und des Master-Studiengangs "Umweltingenieurwesen" (Vertiefung Wasser/Umwelt/Verkehr).

Unsere Exkursion führte uns mit drei Kleinbussen von Hamburg durch das norddeutsche Flachland nach Dänemark zur Hauptstadt Kopenhagen und von dort über die Vogelfluglinie zurück nach Hamburg. Auf unserer Exkursion erwarteten uns außergewöhnlich interessante Projekte, Anlagen, Bauwerke und Baustellen, die uns von engagierten und kompetenten Fachleuten vorgestellt und vor Ort gezeigt wurden.

So durften wir das mächtige Klärwerk im Hamburger Hafen unter der Köhlbrandbrücke ansehen, radelten durch die Innenstadt von Kopenhagen und wurden dabei über Verkehrskonzepte, Stadtentwicklung, Hafensanierung und Starkregenmanagement informiert. Die architektonisch vielbeachtete Müllverbrennungsanlage Copenhill - inklusive Abstieg von der Sommerskipiste auf dem Dach der Anlage - war Abschluss und Höhepunkt dieser Radtour. Die Baustellen der 5. Schleuse des Nord-Ostsee-Kanals in Brunsbüttel und des Fehmarnbelt-Tunnels in Rødby waren - als Großprojekte des Wasserbaus und Verkehrs - weitere beeindruckende Highlights. Wir durchquerten den mächtigen Turbinenteststand/Windkanal der Technischen Universität Dänemarks in Roskilde - und konnten erleben, was Wissenschaft einem Studierenden bieten kann. Wir besuchten "Fjord & Bælt" in Kerteminde (Fünen) und bekamen einen Einblick in die Verhaltensforschung an Schweinswalen und die Biotope der Ostsee. Auf Møen besuchten wir die Kreidefelsen und bei Lübeck eine hochmoderne Deponie der Deponieklasse Z3. Wir besichtigten ein innovatives Gebrauchtgüterkaufhaus, die Baustelle eines Erdspeicherbeckens für Fernwärme, eine Carbo-Force-Anlage für Biomasse und weitere interessante fachspezifische Sehenswürdigkeiten.

Die Tour wurde von typischem herbstlichen "Schmuddelwetter" begleitet. Bei unseren Exkursionsstopps war das Wetter aber weitgehend gnädig. Die Fahrten von Konstanz nach Hamburg erfolgte mit der Bahn. Ein paar Studierenden fuhren die komplette Strecke nach Hamburg mit dem Fahrrad.

Im Namen der Studierenden und meiner Kollegen möchte ich mich bei allen Beteiligten der öffentlichen Betriebe/Verbände, Bauunternehmungen, Ingenieurbüros und Firmen/Herstellern herzlich für Ihr Engagement und Ihr hervorragendes Programm bedanken.

Und nun zu den Studierenden: Eine Woche auf engem Raum in drei Kleinbussen mit den Professoren zu reisen muss für beide Seiten nicht unbedingt angenehm sein. Doch die Atmosphäre in den Bussen war stets entspannt und freundlich. Kompliment. Ebenso für Ihr aufgeschlossenes und interessiertes Auftreten an den Exkursionszielen.

*S. Knoll*

(Prof. Dr.-Ing. Sören Knoll)



*Abendliche Stimmung über dem Hamburger Hafen, Foto: H. Erhardt*



*Morgendliche Stimmung in Kopenhagen, Foto: V. Vögt*



*Eine herbstliche Erfrischungspause an/in der Ostsee, Foto: S. Knoll*

## Exkursionsteilnehmer

### Betreuung und Organisation:

- |                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| (14) Prof. Dr.-Ing. Joachim Dach | (2) Prof. Dr.-Ing. Jian-hua Meng   |
| (16) Prof. Dr.-Ing. Sören Knoll  | (15) Prof. Dr.-Ing. Pedro da Silva |

### Studierende:

- |                      |                        |                       |
|----------------------|------------------------|-----------------------|
| (25) Bertholt Becker | (26) Maja Hübner       | (1) Raphael Reichle   |
| (17) Jens Bleyer     | (27) Yoanna Kaisler    | (19) Jonas Schepper   |
| (3) Andreas Briechle | (10) Lucy Kraus        | (7) Lea Schwendemann  |
| (22) Hannes Erhardt  | (4) Olivia Kühner      | (20) Ardito Stichnote |
| (5) Luisa Ernst      | (6) Marleen Landes     | (13) Verena Vögt      |
| (23) Florian Fischer | (8) Tobias Lange       | (24) David Weber      |
| (11) Lina Hartl      | (18) Christoph Lehmann | (12) Vera Weber       |
| (21) Fabian Häußler  | (9) Till Messerschmidt |                       |



Exkursionsgruppe bei Præstø Fjernvarme (DK), Foto: D. Trier

## Exkursionsprogramm

25.09.2022	07:53 - 16:35 19:00 - 20:30	Bahnfahrt von Konstanz nach Hamburg Hafenrundfahrt HVV
26.09.2022	09:00 - 13:00	Kläranlage Hamburg (HamburgWasser) - Geschichtliche Entwicklung (Vortrag) - Aufbereitungsstufen, Schlammbehandlung (Faultürme) - Sturmflut-/Hochwasserschutz
	15:30 - 17:00	Nord-Ostsee-Kanal, Schleuse Brunsbüttel Neubau 5. Schleuse auf der Schleuseninsel (Baustelle) - Geschichte des Kanals - Planung und Bau (Gründung, Konstruktion, Bauablauf)
27.09.2022	08:30 - 09:30	Abfallwirtschaftsbetriebe Rendsburg/Eckernförde, Büdelsdorf Gebrauchtwarenkaufhaus "KaufBar": Modellprojekt für Wiederverkauf von aufbereiteten Konsumartikeln (Aufbereitung, Reinigung, Funktionscheck)
	10:00 - 12:00	Abfallwirtschaftsbetriebe Rendsburg/Eckernförde, Borgstedt - Kompostierungs- und Biogasanlage - Carbo-Force-Anlage
	15:00 - 16:00	Fjord & Bælt, Kerteminde (DK) - Naturkundemuseum mit Aquarien (Schwerpunkt Ostsee) - Verhaltensforschung an Schweinswalen/Seehunden
28.09.2022	09:00 - 12:00	Fahrradtour Green Copenhagen (mit englischsprachigen Guides) (Verkehr, Ökologie, Stadtentwicklung, Sehenswürdigkeiten)
	14:00 - 16:00	Starkregenmanagement Kopenhagen (Ingenieurbüro Rambøll) - Sankt Annæ Plads (wasserwirtsch. Umgestaltung, Stadtzentrum) - Remiseparken (ökol. Umgestaltung, früher sozialer Brennpunkt)
	16:30 - 18:30	Abfallverbrennungsanlage Kopenhagen (Copenhill A/S) - hochmoderne Anlage mit Strom- und Fernwärmeerzeugung - Synergieeffekte und Akzeptanz durch Freizeitnutzung
29.09.2022	08:30 - 10:00	Erdbeckenspeicher Høje Taastrup (DK) - Baustelle Speicherbecken - Vortrag Fernwärme in Dänemark
	11:00 - 14:30	DTU (Technical University of Denmark), Roskilde (DK) - Vortrag Windkraftherzeugung - Turbinenteststand/Windkanal
	16:00 - 17:30	Fernwärmanlage, Præstø (Præstø Fjernvarme) (DK) - Solarthermie - Kraft-Wärme-Kopplung
	18:00 - 18:45	Kreidefelsen Møns Klint, Insel Møn (DK)
30.09.2022	09:30 - 11:00	Tunnelbaustelle Fehmarnbelt, Rødby Havn (DK) - Informationszentrum Femern A/S (Vortrag) - Baustelle (Spülbaggerungen, Landgewinnung, Fabrikareal)
	15:00 - 17:30	Abfalldeponie Ihlenberg (Ihlenberger Abfallentsorgung - IAG) - Deponie, Deponieklasse Z3 (Vortrag/Befahrung) - Deponiewasserbehandlung, Schadstoffanalytik (Labor)
01.10.2022	08:00 - 14:00	Hamburg, Zeit zur freien Verfügung
	14:24 - 22:16	Bahnfahrt von Hamburg nach Konstanz

## Exkursionsroute



Exkursionsbus, Foto: V. Vögt

Datum: 26.09.2022  
Exkursionsziel: Kläranlage Hamburg (HamburgWasser)  
Betreuer: Herr Barth (HamburgWasser)

Protokoll: David Weber

### Kläranlage Hamburg (HamburgWasser)

Nach dem Frühstück fahren wir mit der Fähre von den Landungsbrücken in Richtung NeuhoF, wo sich der Ausstieg für die Kläranlage befindet. Dort wurden wir von Stephan Barth, Prozessingenieur bei Hamburg Wasser, begrüßt.



*Mit der Personenfähre zur Kläranlage. Blick auf die Köhlbrandbrücke, Foto: S. Knoll*

Zu Beginn gab es eine Einführung und ein paar generelle Fakten über die Anlage. Das Klärwerk gehört zu der Hamburger Stadtentwässerung AöR und reinigt 450.000 m<sup>3</sup> Abwasser, welches von 2,4 Mio. Einwohnern stammt und durch ein Kanalnetz von 5.500 km geleitet wird. Das Hamburger Abwasser gelangt durch drei Düker auf die aufgeschüttete Insel im ehemaligen Hamburger Kohlehafen. Hier befinden sich zwei mechanische Aufbereitungsstufen, die die vorhandenen mineralischen und organischen Feststoffe wie Sand, Abfall und Fette aus dem Abwasser abscheiden.



*Herr Barth stellt die Entwicklung der Kläranlage und ihre Funktionen vor, Foto: P. da Silva*

Ein kleiner Teil des Abwassers wird direkt in der biologischen Reinigung auf dem Klärwerk Köhlbrandhöft weiter gereinigt, der größte Teil des Abwassers wird mittels eines Dükers in das Klärwerk Draudenau gepumpt, wo das Wasser mittels Denitrifikation und Nitrifikation gereinigt wird. Der überschüssige Klärschlamm wird auf dem Gelände Köhlbrandhöft weiter verwertet. Durch das Faulgas, welches mittels eines BHKW zu Strom und Wärme umgewandelt wird, und den Windkraftanlagen, welche auf dem Gelände installiert worden sind, ist das gesamte Klärwerk energieautark und kann sogar einen Teil der klimaneutralen Energie in das Netz einspeisen.

Nach dem theoretischen Input ging es auf die Anlage. Die Tour führte entlang des Weges welches auch das Abwasser auf der Anlage nimmt. Wir starteten beim Hebewerk, bei dem das Abwasser mittels Schneckenpumpen 20m angehoben wird, um dann im Freispiegelabfluss durch die verschiedenen Reinigungsstufen zu fließen. Die nächste Station ist das Rechengebäude, in dem mittels zwei verschiedener Rechengrößen bereits sehr viel Feststoff entfernt werden kann und manchmal sogar Schätze wie Geldbeutel oder verlorenen Ringe geborgen werden.

Danach ging es weiter zu den Sandfängen, den Sandzentrifugen und Sandwäschern. Hier wird ein Großteil der mineralischen Feststoffe aus dem Wasser entnommen und aufbereitet. Weiter ging es zu den Vorklärbecken, über die biologische Reinigungsstufe und den Nachklärbecken zu der Schlammbehandlung. Sehr spektakulär waren die Schlammeindicker, in denen ein Teil des Wassers aus dem Schlamm entzogen wird. Der bereits entwässerte und stabilisierte Schlamm gelangt über eine Trocknung in die Klärschlammverbrennungsanlage. Die Asche, welche bei der Verbrennung entsteht, wird weiter aufbereitet und Phosphor zurückgewonnen.

Das letzte Highlight auf der Tour war die Begehung der Faultürme, von denen es einen grandiosen Blick über die gesamte Anlage und den Hamburger Hafen gab. Zum Abschluss der spannenden Besichtigungstour gab es ein Mittagessen in der Mensa des Klärwerks.



Gruppenfoto auf einem der Faultürme der Hamburger Kläranlage, Foto: J. Meng

Datum: 26.09.2022  
Exkursionsziel: Nord-Ostsee-Kanal, Brunsbüttel  
Betreuerin: Frau Baaß (VHS Brunsbüttel)

Protokoll: Till Messerschmidt

### Nord-Ostsee-Kanal (Schleusenbaustelle), Brunsbüttel

Am 26. September durften wir nach einer eineinhalb stündigen Fahrt von der Kläranlage Hamburg nach Brunsbüttel die größte Wasserbaustelle Europas, den Bau der 5. Schleusenkammer am Nord-Ostsee-Kanal in Brunsbüttel, besichtigen. An der Baustelle begrüßte uns Frau Carla Baaß bei typisch norddeutschem "Schietwedder", die uns bei einer 60-minütigen Präsentation die historischen und technischen Details zum Nord-Ostsee-Kanal und insbesondere zu den Schleusen in Brunsbüttel im Infocontainer der Baustelle erläuterte.



*Frau Baaß mit der Exkursionsgruppe auf dem Deich an der Kanaleinfahrt, Foto: H. Erhardt*

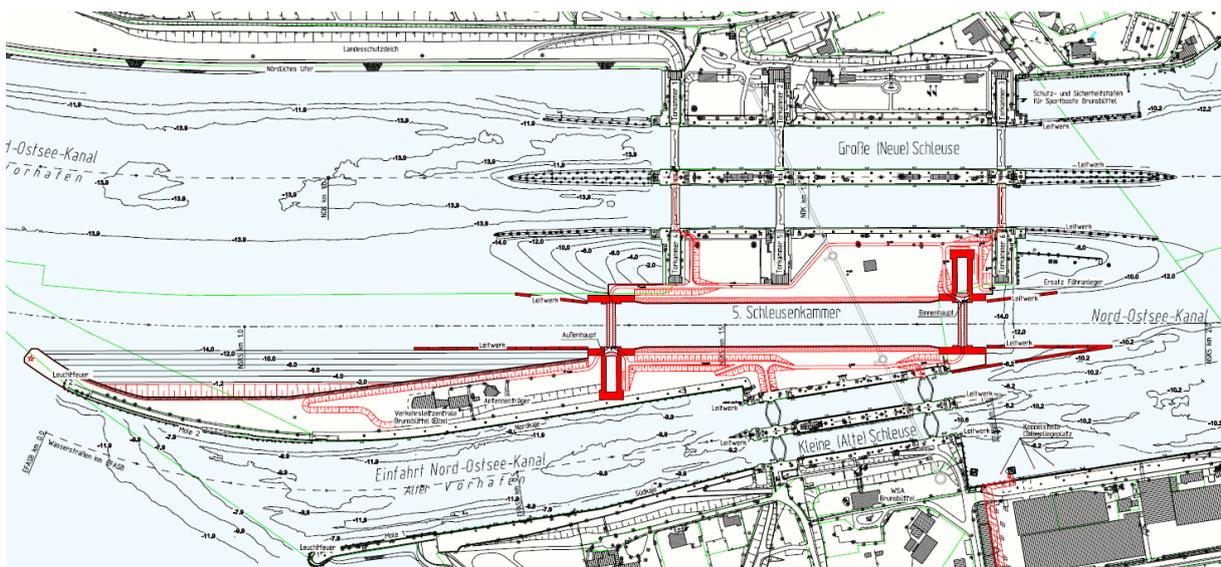
Der Nord-Ostsee-Kanal hat eine Gesamtlänge von 98,26 Kilometer und ist eine der meist befahrensten künstlichen Wasserstraßen der Welt. Der Bau des ersten Kanals, der die Nordsee in Brunsbüttel mit der Ostsee in Kiel verbindet, wurde 1895 nach rund achtjähriger Bauzeit fertig gestellt. Dieser wurde von Kaiser Wilhelm I in Auftrag gegeben und sollte sowohl den Transport von Waren vereinfachen aber auch die schnelle Verlegung von Militärschiffen zwischen der Nord- und Ostsee ermöglichen. Anschließend erfolgten zwei Erweiterungen in den Abschnitten zwischen 1907-14 und nach 1965, in welchen der Kanal vertieft und verbreitert wurde. Aktuell befinden sich in Brunsbüttel vier Schleusen. Die zwei kleinen Doppelschleusen in Brunsbüttel sind seit 1895 in Betrieb, die zwei großen Doppelschleusen gingen 1914 in Betrieb. Da diese Schleusen nach über 100 Jahren baufällig sind und eine Sanierung benötigen, wurde der Neubau einer 5. Schleusenkammer beschlossen, um den laufenden Betrieb der Wasserstraße nicht zu beeinträchtigen und die alten Schleusen sanieren zu können. Der Spatenstich erfolgte 2014, mit einer Freigabe der 5. Schleusenkammer wird 2026 gerechnet.

Anschließend wurden von Frau Baaß einige technische Details zur Baustelle genannt. Der Aushub für die Schleusenkammer inklusive der beiden Häupter wird rund 1,6 Millionen Kubikmeter betragen. Dieser wird auf dem Wasserweg zu einer nahe gelegenen Erddeponie geschifft und kann von dort aus zum Deichbau oder ähnlichem verwendet werden, weil es sich um nicht kontaminierte Böden handelt. Da sich die Baustelle der 5. Schleusenkammer auf der Schleuseninsel zwischen den zwei Doppelschleusen befindet, erfolgt die gesamte Logistik der Baustellen vom Wasser aus. Für die Sohle der Schleuse und

Wände werden in etwa 140.000 Kubikmeter Beton verbaut, wozu extra zwei eigene Betonwerke auf dem Baustellengelände errichtet wurden. Allein für das Außenhaupt wurde eine acht Meter starke Betonsohle verbaut. Diese unvorstellbaren Zahlen verdeutlichen die enormen Dimensionen, mit welchen beim Bau der Schleuse umgegangen wird. Nach den spannenden Informationen im Besucherzentrum der Baustelle konnten wir noch einen Blick von außen auf die Baustelle werfen.



Luftbild der Schleuseninsel mit den 4 Schleusen und der Baustelle für die 5. Schleuse (Juni 2022),  
Quelle: [www.wna-nord-ostsee-kanal.wsv.de](http://www.wna-nord-ostsee-kanal.wsv.de)



Lageplan 5. Kammer (29.04.2009) aus Planfeststellungsverfahren, Quelle: [www.kuestendaten.de](http://www.kuestendaten.de)

Datum: 27.09.2022  
Exkursionsziel: Gebrauchtwarenkaufhaus "KaufBar", Büdelsdorf  
Betreuer: Frau Löhndorf (AWR KaufBar), Herr Stapler (AWR KaufBar)  
Protokoll: Marleen Landes

## Gebrauchtwarenkaufhaus "KaufBar", Büdelsdorf

Nach dem Frühstück im Biker B&B Dannevirke ging es los zum Gebrauchtwarenkaufhaus KaufBar in Büdelsdorf. Dieses wird von den Abfallwirtschaftsbetrieben Rendsburg (AWR) betrieben. Vor Ort erhielten wir durch Frau Löhndorf und Herrn Stapler Einblicke in die Verkaufs- und Lagerflächen und erfuhren mehr über die Hintergründe des nachhaltigen Konzepts. Das Kaufhaus bietet alles von Geschirr bis zu Möbeln und setzt dabei auf gründliche Prüfung und Aufbereitung der Gegenstände, welche auf Wertstoffhöfen gesammelt wurden. Pro Woche werden bis zu 40 Kubikmeter „Abfall“ angeliefert und für den Verkauf vorbereitet. Die Größe und Fülle des Lagers machen uns deutlich, dass es an Ware nicht mangelt. Hier werden die Artikel vorsortiert und dann je nach Bedarf der KaufBar geprüft und aufbereitet. Beispielsweise werden selbst Puzzle von den Mitarbeitenden auf ihre Vollständigkeit geprüft, um die Qualität zu gewährleisten.



*Gebrauchtwarenkaufhaus KaufBar, Foto: J. Dach*

Das Projekt begann mit einem Tauschcontainer auf dem Wertstoffhof, in dem Besucher des Wertstoffhofes freiwillig Gegenstände zur weiteren Verwendung verschenken konnten. Da das Angebot gut angenommen wurde, jedoch auch Flohmarkthändler anlockte, begannen die AWR, eigene Flohmärkte zu organisieren. Diese bestehen bis heute neben der KaufBar und werden allerdings durch Vereine betrieben. Diese können sich für den Flohmarkt bewerben, die gesammelte Ware verkaufen und die Gewinne behalten. Das Projekt „von der Region für die Region“ unterstützt somit Vereine mit Gewinnen von bis zu 5.000 €.



Werkstatt zur Aufbereitung der Gebrauchtwaren, Foto: S. Knoll

Wirtschaftlich lohnend sei das Projekt der KaufBar insgesamt nicht, die Nachhaltigkeit und die Unterstützung der Vereine der Region stehe jedoch im Vordergrund. Die KaufBar erregte eine hohe Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit, durch ihr Angebot und den hohen Qualitätsanspruch an die Waren und deren Präsentation. Faktoren wie die Pandemie, Finanzkrise und wachsendes ökologisches Bewusstsein erhöhen zudem das Angebot und die Nachfrage nach gebrauchten und preiswerten Gegenständen. Wir sind vor Ladenöffnung dort, erfahren aber, dass es teilweise lange Schlangen gibt und Kunden teils weite Anfahrtswege in Kauf nehmen. Auch aus unserer Gruppe wird der ein oder andere zum Kunden und ergattert ein Unikat zum kleinen Preis.



Gebrauchtwarenlager, Foto: J. Dach

Datum: 27.09.2022  
Exkursionsziel: Abfallwirtschaftsbetriebe Rendsburg/Eckernförde (AWR), Borgstedt  
Betreuerin: Frau Dr. Söhrmann (AWR)  
  
Protokoll: Florian Fischer

### Kompostierungs- und Biogasanlage (AWR), Borgstedt

Am Dienstag den 27. September stand am 2. Exkursionstag ein Besuch bei der Kompostierungsanlage der Abfallwirtschaftsbetriebe Rendsburg/Eckernförde an.

Während eine Hälfte der Exkursionsteilnehmenden von Frau Dr. Margit Paustian durch die Pyrolyse-Anlage von Carbo-FORCE GmbH geführt wurden, stellte Frau. Dr. Claudia Söhrmann die Abfallbehandlungsanlage für häuslichen Bioabfall mit der zugehörigen Biogasanlage vor.

Es handelt sich hierbei um eine vom Landkreis beauftragte Anlage, wo Bioabfall von ca. 80.000 Haushalten behandelt wird. Äquivalent hierzu kann ein Bioabfall-Input von 80.000 Tonnen pro Jahr angenommen werden. Unter anderem wird der Bioabfall der Städte Flensburg und Kiel angeliefert.

Die Anlage teilt sich auf in einen älteren Teil, welcher aus 10 Tunnelfermentern besteht und einem neueren Teil, bestehend aus 4 Fermentern.



*Frau Dr. Söhrmann mit der Exkursionsgruppe in einer Rottehalle, Foto: J. Meng*

Der Biogasertrag, welcher üblicherweise mit  $80 \text{ Nm}^3$  pro Tonne Bioabfall oder sogar mehr abgeschätzt werden kann, liegt bei dieser Anlage etwas niedriger bei ca.  $50 \text{ m}^3$  pro Tonne Bioabfall. Grund hierfür ist das ländlich geprägte Einzugsgebiet, wo oftmals auch Grünabfälle im biologischen Hausmüll landen, welche ein geringeres Gasbildungspotential aufweisen.

Pro Fermenter werden ca. 280 t frischer Bioabfall mit ca. 150 t Gärresten vermischt. Im Vorfeld erfolgt keinerlei Zerkleinerung des Bioabfalls.

Damit eine Biogasproduktion erfolgen kann, müssen im Fermenter anaerobe Verhältnisse herrschen. Hierzu erfolgt eine Perkolation von ca. 80 m<sup>3</sup> Prozesswasser pro Durchgang.

Das Gärsubstrat verweilt für 30 Tage im Tunnelfermentern bei mesophilen Verhältnissen (37- 48°C), bevor diese dann vor der Entnahme mittels Radlader durch einen Abgasstrom des BHKW's „gespült“ werden, um den Übergang von anaeroben Verhältnissen (Explosionsgefahr) zu aeroben Verhältnissen darzustellen.



*Tore der Tunnelfermenter, Foto: J. Dach*

Nach der Vergärung wird das Substrat in sogenannte Rottetunnel verfrachtet,. Hier herrschen aerobe Verhältnisse. Die über den Düsenboden eingepresste Frischluft erwärmt sich durch die Wärmefreisetzung auf 50°C. Hier verweilt das Substrat weitere 14 Tage, bevor es in Mieten aufgehäuft wird mit dem hauptsächlichen Ziel der Hygienisierung und Reifung (Nachrotte).

Mit der anschließenden Nachbehandlung des Rottesubstrats (Klassierung mittels Trommelsieben und Entfernung grober Kunststoffbestandteile mittels Windsichtung) ist die Aufbereitung des entstandenen Komposts weitestgehend abgeschlossen und dieser bereit für den Einsatz als organischer Boden in landwirtschaftlichen Prozessen.



*Trommelsiebe zur Klassierung des Rottesubstrats, Foto: V. Vögt*

Die Studierenden der Hochschule Konstanz bedanken sich herzlich für die aufschlussreiche und äußerst verständlich gestaltete Führung bei Frau Dr. Söhrmann und wünschen ihr weiterhin alles Gute.

Datum: 27.09.2022  
Exkursionsziel: Carbonisierungsanlage (Carbo-FORCE GmbH), Borgstedt  
Betreuerin: Frau Dr. Paustian (Carbo-FORCE GmbH)  
  
Protokoll: Tobias Lange

### Carbonisierungsanlage (Carbo-FORCE GmbH), Borgstedt

Im Zuge unseres Aufenthalts bei den Abfallwirtschaftsbetrieben Rendsburg/Eckenförde besichtigten wir auch die Carbonisierungsanlage zur Herstellung von hochwertiger pflanzlicher Kohle des Unternehmens Carbo-FORCE GmbH. Die etwa zwei Container große Anlage mitsamt Abstellfläche befindet sich auf dem Areal der Kompostierungsanlage, so dass die Führungen in zwei Gruppen gleichzeitig durchgeführt werden konnten.



*Frau Dr. Paustian vor der Carbonisierungsanlage, Foto: J. Dach*

Die Anlage wurde uns von Frau Dr. Paustian vorgestellt. Zielprodukt des Herstellungsprozesses respektive des Pyrolyseverfahrens ist eine Pflanzenkohle (Biochar), welche den enthaltenen Kohlenstoff langfristig bindet und als Substitut im Straßenbau, bei der Veredlung von Böden und zukünftig auch für die Herstellung von Aktivkohle und Kunststoffen eingesetzt werden kann. Dieses Produkt wird am Standort Borgstedt aktuell von einem Händler für den Preis von etwa 600-700 € pro Tonne bezogen.

Da ein hoher Standard des Output-Produkts angestrebt wird (gemäß EBC-AgroBio Standards), muss ein hohes Augenmerk auf die Qualität des Input Produkts gelegt werden. Dieses wird von Carbo-FORCE aus regionaler Herkunft bezogen, wobei es sich hierbei überwiegend um Holzreste (z.B. Schnittgut) und andere Abfallprodukte mit hohen Brennwerten, wie etwa Olivenkerne handelt. Neben der richtigen Korngröße wurden außerdem notwendige Eigenschaften wie ein hoher Schmelzpunkt sowie ein hoher Trockensubstanzanteil des Inputs betont. Die Eignung der Brennstoffe wird mittels einer Brennstoffanalyse überprüft.

Das Material wird in einem Bunker gelagert, und wird mittels einer Schnecke kontinuierlich in den Liegend-Reaktor gefördert. Hierbei passiert das Material einen Metallabscheider bevor es auf ca. 450 °C erhitzt wird und anschließend bei ca. 750 °C in der Verkohlungszone unter regulierter und unterstöchiometrischer Zugabe von Sauerstoff vergast (Pyrolyse). Hierbei entsteht ein Synthesegas, welches verbrannt wird und damit durch Wärmeabkopplung mittels Wärmetauscher thermische Energie von ca. 600 kW (entspricht ca. 50% der gesamten Leistung der Anlage) verfügbar machen kann. Durch die Wärmerückführung ist nach der Anfeuerung keine externe Wärme für die Carbonisierung notwendig. Der vollständige Ausbrand der Rauchgase erfolgt in der Brennkammer bei ca. 850 Grad °C. Anschließend verlässt das Rauchgas die Anlage nach vorgeschalteter Entstaubung über ein elektromagnetisches Verfahren.

Die anfallende Kohle, dessen Volumen nur noch etwa 20-25% des Ausgangsprodukts beträgt, muss vor der Lagerung aufgrund der potenziellen Selbstentzündungsgefahr befeuchtet werden. Vom Ausgangsprodukt bis zur auf Raumtemperatur ausgekühlten Kohle vergehen ca. 40 Minuten, davon 20 Minuten im Reaktor.

Neben dem Verkauf der Pflanzenkohle, sowie der Wärmegewinnung durch den Pyrolyseprozess stellt sich bei dieser Anlage insbesondere auch der Handel mit Carbon Credits als lukrativ dar. Der im Holz enthaltene Kohlenstoffanteil, der später in der Kohle ist, wird nicht in CO<sub>2</sub> umgewandelt, sondern in der Kohle gebunden. Die Pflanzenkohle stellt somit zumindest temporär eine Kohlenstoffsенке bzw. Kohlendioxidsenke dar.

Diese Reststoff-Wertstoff-Wandlung in Form der Carbonisierung kann entsprechend als Kohlenstoff-negative Technologie bezeichnet werden.



*Blick in die Carbonisierungsanlage, Foto: S. Knoll*

Insgesamt war die Einführung in die Anlagentechnologie sehr informativ und anregend, auch da es sich um ein sehr junges Projekt und eine spannende, sowie zukunftsweisende Technologie handelt.

Datum: 27.09.2022  
Exkursionsziel: Fjord & Bælt, Kerteminde  
Betreuerinnen: Frau Anderson Hansen, Frau Kjølby, Frau Skov Rasmussen

Protokoll: Christoph Lehmann

### Fjord & Bælt, Kerteminde (DK)

Nach dem Besuch der Kompostieranlage beeilten wir uns zurück in die Mercedes-Busse, um pünktlich an der nächsten Station der Exkursion anzukommen. Bei dieser Station handelt es sich um die Erlebnis- und Forschungseinrichtung Fjord & Bælt im dänischen Kerteminde auf der Ostseeinsel Fünen. Ziel der Einrichtung ist es, Informationen und Fakten über Meeresbewohner und deren Schutz zu vermitteln.

In der Erlebnis- und Forschungseinrichtung gibt es vier Seehunde, drei Schweinswale, die in separaten Becken leben, sowie einen Pool mit Nagelrochen, Katzenhaien, Flundern, Hummern, Aalen und weiteren Meeresbewohnern der Nord- und Ostsee. Außerdem befindet sich ein Aquarium mit leuchtenden Quallen, ein Fühlbecken, in dem Krebse, Plattfische und Seesterne betastet werden können, ein Pottwalskelett und weitere abwechslungsreiche Aquarien und Becken in der Einrichtung - jeweils ausgestattet mit lehrreichen Informationstafeln. Darüber hinaus gibt es unter dem Becken der Schweinswale und Seehunde einen 40-Meter langen Tunnel mit Fenstern zu beiden Seiten.



*Salzwasserbecken mit heimischen Tierarten, Foto: J. Dach*

Als wir in Fjord & Bælt ankamen startete gerade das Training sowie die Fütterung der Seehunde. Dabei hatte jeder Seehund seine individuelle Betreuungsperson. Die Seehunde machten zum Beispiel bestimmte Bewegungen mit den Flossen oder sprangen aus dem Wasser auf einen Ball zu, nachdem sie einen Fisch als Anreiz erhalten hatten.



*Schweinswalbecken von Fjord & Bælt in Kerteminde, Foto: J. Dach*

Nach dem Seehundtraining wurden die Schweinswale mit kleinen Fischen gefüttert. Damit alle drei Schweinswale gleich viele Fische bekamen, zählten die Betreuer mit und gaben den jeweils letzten Fisch zeitgleich an die drei Meeressäuger. Frau Kirstin Anderson Hansen, Biologin und Leiterin der Tierausbildung und -forschung von der Süddänischen Universität, betonte, dass das Abzählen wichtig ist, um zu vermeiden, dass die Schweinswale sich um den letzten Fisch streiten. Außerdem berichtete sie darüber, dass bedauerlicherweise viele Schweinswale in Fischernetzen verenden.



*Schweinswalffütterung, Foto: J. Meng*

Dies könnte in Zukunft vermieden werden, indem Fischernetze mit akustischen Warnsensoren ausgestattet sind, die nur Schweinswale wahrnehmen können.

Das Gehör und das Bio-Sonar von Schweinswalen können sowohl durch die Schifffahrt, als auch durch den Bau von Offshore-Windparks verschlechtert oder gestört werden. In Kerteminde wird unter anderem erforscht, ob und wie sich solche Eingriffe in die Umwelt und den Lebensbereich der Schweinswale auswirken.

Datum: 28.09.2022  
Exkursionsziele: Radtour Green Copenhagen - Verkehrskonzept, Stadtentwicklung, Ökologie etc.  
Betreuer: Mitarbeiter von Cycling Copenhagen  
Protokoll: Luisa Ernst

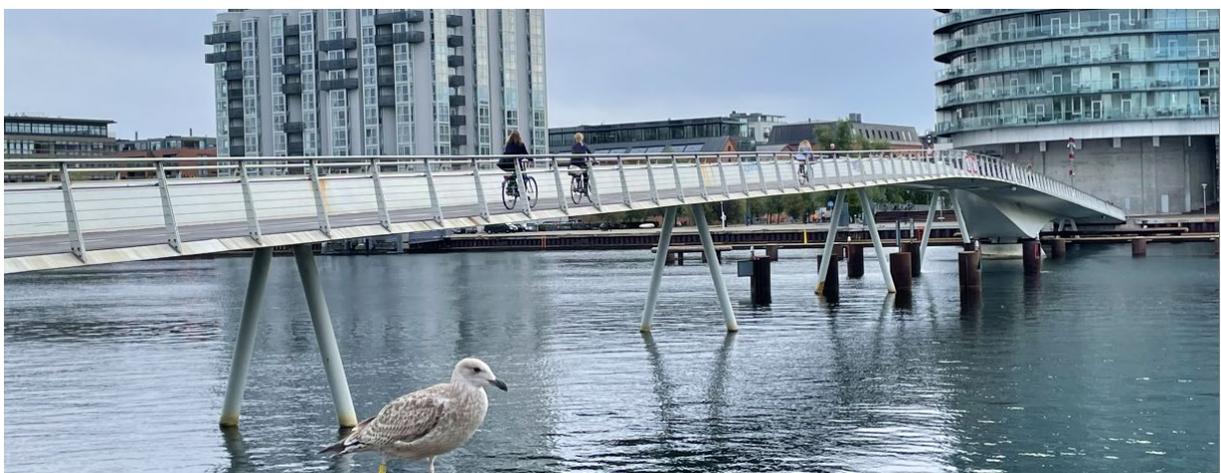
### Radtour Green Copenhagen (DK)

Nach unserer ersten Nacht in Kopenhagen stand am Morgen eine Fahrradtour auf dem Programm. Glücklicherweise meinte es das Wetter gut mit uns und wir erwischten einen trockenen Tag. Das erste Ziel unserer Tour führte uns an einen Bereich im Hafen, der sowohl im Sommer als auch im Winter gerne zum Baden genutzt wird. Um das Wasser in den vergangenen Jahren von Schmutz und Abwasser zu befreien und um anschließend diesen Zustand zu erhalten, wurden hohe Summen in die Kanalisation investiert und ein Durchfahrtsverbot für große Schiffe in diesem Bereich verhängt.



*Die Exkursionstruppe vor der Abfahrt durch Kopenhagen, Foto: J. Dach*

Unsere nächsten Ziele waren verschiedene Fahrradbrücken. Insgesamt gibt es in Kopenhagen über 20 Fahrradbrücken, von denen die älteste ihrer Art (Bryggebroen) aus dem Jahr 2006 und eine der bekanntesten (Cykelslangen, dt.: Fahrradschlange) von uns befahren worden sind. Seit nicht weniger als sieben Jahren darf sich Kopenhagen als beste Fahrradstadt der Welt bezeichnen, was zum einen an der sehr hohen Anzahl an Fahrrädern liegt (mehr Räder als Einwohner), und zum anderen an einem gut funktionierenden Radverkehrskonzept. Neben den zahlreichen Brücken gibt es zehn Highways sowie Grüne Wellen für die Radfahrer. Somit ist es nicht verwunderlich, dass 47 % der Bevölkerung das Fahrrad für den Arbeitsweg nutzen.



*Eine der vielen Fahrradbrücken in Kopenhagen, Foto: J. Meng*

Weiter ging die Tour auf unseren dänischen Designerbikes, deren Rahmen an einer Stelle aus Stahlseilen besteht, mit denen das Rad abgeschlossen werden kann. Wir überquerten weitere Brücken, erhielten Informationen über den Stadtteil Christianshavn, die kleine eigene Gemeinde Christiania mitten in der Stadt, den zentralen Hafen Nyhavn und über das neue Opernhaus, von dessen 28 m hohem Dach jährlich ein Klippenspringen stattfindet. Schließlich erreichten wir das Schloss Amalienborg, wo unser Guide uns etwas über die Königsfamilie und die Bewohner der verschiedenen Gebäude des Schlosskomplexes erzählte sowie über die königliche Garde. Erstaunt waren wir alle über die Kreativität der Dänen bei der Namensgebung ihrer Thronfolger. Diese sieht lediglich die Namen Christian und Frederik vor, womit die amtierende Königin Margrethe eine willkommene Abwechslung darstellt.



*Ein Haltepunkt auf unserer Vortragstour, Foto S. Knoll*

Vom Schloss aus ging es weiter zu unserem letzten Ziel der Tour, zur Statue der Kleinen Meerjungfrau. Die aus dem Jahr 1913 stammende Bronzefigur gilt als Wahrzeichen Kopenhagens und ist die meist besuchte Sehenswürdigkeit in Dänemark, noch vor dem Legoland. Im Anschluss daran endete für uns die geführte Radtour und wir kehrten zum Ausgangspunkt zurück. Da wir allerdings die restlichen Programmpunkte des Tages ebenfalls auf dem Rad zurücklegten, stand nun nur eine kurze Pause an, in der wir uns etwas zu Essen und ein Heißgetränk zum Aufwärmen verdient hatten.



*Schloss Amalienborg, Foto S. Knoll*

Datum: 28.09.2022  
Exkursionsziele: Sankt Annæ Plads und Remiseparken, Kopenhagen - Starkregenmanagement  
Betreuer: Herr Werner (IB Rambøll)  
  
Protokoll: Raphael Reichle

### Starkregenmanagement Kopenhagen (IB Rambøll)

Nach der Fahrradtour am Morgen und einer Mittagspause in der Stadt trafen wir uns mit Stefan Werner am Sankt Annæ Plads in Kopenhagen. Herr Werner arbeitet als Senior Consultant bei Rambøll Danmark und war Projektmanager für Starkregenmanagement der Stadt Kopenhagen. Er erzählte von dem außergewöhnlichen Starkregenevent am 02. Juli 2011, welches dafür sorgte, dass die Stadt Kopenhagen sich seither intensiv mit dem Management von Extremwettervorfällen auseinandersetzt.

In dem Sankt Annæ Plads stand das Wasser auf der Straße und lief in die Keller der Häuser und verursachte so Schäden an den Häusern.

Laut Herrn Werner war das Projekt am Sankt Annæ Plads eines der ersten von 300 geplanten Projekten im Bereich Starkregenmanagement. Ziel solcher Projekte ist die Einbettung von Retentionsräumen in die öffentliche Infrastruktur, um somit den Hochwasserschutz zu gewährleisten.

Der langgezogene, rechteckige Platz ist von einem fast durchgängigen Grünstreifen in der Mitte, sowie Fahrbahnen rechts und links davon gekennzeichnet.



*Sankt Annæ Plads, Foto S. Knoll*

Vor Ort gab es mehrere Probleme, welche die Arbeiten erschwerten. Die vorhandenen Kanäle lagen zu hoch, womit der Bau eines neuen größeren Kanals schwer möglich war. Außerdem waren die vorhandenen Kanäle zu klein für Extremwetterereignisse. Gelöst wurde das Problem durch ein Überlaufbauwerk für die vorhandenen Kanäle am nahegelegenen Hafen und den Bau eines Retentionsraums mit einem Volumen von 2000 m<sup>3</sup>. Außerdem wurden die Regenrinnen der Häuser mit dem Mischwasserkanal verbunden, damit das Wasser nicht auf die Straßenfläche abgeleitet wird.

Die Grünflächen wurden leicht tiefergelegt, damit sie als Retentionsbecken fungieren. Um Kanäle zu legen, wurden die alten Bäume gefällt und durch neue mit flacherem Wurzelwuchs ersetzt. Weiter musste die Ableitung von Dachwasser der nördlich gelegenen Straße genehmigt werden. Es wurde festgelegt, dass 10-jährige Regenereignisse (und seltenere) in den Hafen abgeleitet werden dürfen.

Danach fuhren wir mit dem Fahrrad zum Remiseparken, dem zweiten Beispiel für Starkregenmanagement. Der Park hat eine Fläche von 20-30 ha, die ein großes Retentionspotential bietet.



*Vortrag von Herrn Werner im Remiseparken, Foto S. Knoll*

Am Park wurde u.a. ein Graben zur Entwässerung neu angelegt, welcher in ein bewaldetes Grundstück mündet, um das Wasser zu versickern. Weiteres Ziel ist es, das Regenwasser der benachbarten Hausbesitzer in den Graben abzuleiten. Zudem dienen die tiefer gelegten Sportplätze als Retentionsbecken bei Starkregenereignissen.



*Graben mit Rostabdeckung im Remiseparken, Foto H. Erhardt*



*Sportplätze, die zur Retention genutzt werden können, Foto S. Knoll*

Datum: 28.09.2022  
 Exkursionsziel: Abfallverbrennungsanlage Kopenhagen (Copenhill A/S)  
 Betreuer: Herr Nielsen, Frau Thornval (Copenhill A/S)  
 Protokoll: Lea Schwendemann

## Abfallverbrennungsanlage Kopenhagen (Copenhill A/S)

In einer Fahrradkolonne ging es von dem Remiseparken zur Abfallverbrennungsanlage in Kopenhagen. Dort haben die Student:innen im "Mount Everest" zunächst eine interessante Präsentation von Herrn Flemming G. Nielsen erhalten, um einen Überblick über die Müllbeseitigung in Kopenhagen zu gewinnen.



*Müllverbrennungsanlage Kopenhagen, Foto S. Knoll*

Die Vision für die Abfallverbrennungsanlage war, eine moderne und flexible Energiegewinnung zu ermöglichen und dabei die höchsten Umweltstandards einzuhalten. Aufgrund der bereits bestehenden Infrastruktur innerhalb der Stadt, wurde die neue Anlage wieder innerhalb dieser und in unmittelbarer Nähe des Vorgängerstandortes geplant. Daher soll die Anlage zudem ästhetisch und funktional in das Stadtbild integriert sein. Dies wurde von dem Architekten Bjarke Ingles umgesetzt. Die Abfallverbrennungsanlage Amager Bakke ist seit 2017 in Betrieb und seit 2019 die auf dem Dach vorhandene Skipiste, CopenHill.



*Zugang zur Skipiste, Foto H. Erhardt*

Nach dem Vortrag wurden die Studierenden von der Mitarbeiterin Hanna durch die Anlage geführt. Der Weg zur Anlieferung führte zunächst oberhalb der Rauchgasreinigung entlang, was eine gute Sicht auf die gesamte Anlage ermöglichte.



*Anlieferungsbereich, Foto S. Knoll*

In der Anlage wird Abfall von rund 645.000 Einwohnern und 68.000 Unternehmen verbrannt. Der anfallende Abfall wird zunächst in ein großes Silo eingetragen. Dieses hat eine Kapazität von ca. 22.000 t Abfall. Aus dem Silo gelangt das Material durch einen Greifer in die Brennkammer. Die Anlage wird auf zwei Linien betrieben, damit bei Ausfällen immer eine Schiene noch funktionsfähig ist. Die Öfen haben je einen Durchsatz von 35 t/h. Nach zwei Stunden mit einer Abgastemperatur von 900-1100 °C ist nur noch die Schlacke übrig. Die Studierenden hatten das Glück, dass eine der Brennkammern saniert wurde, sodass ein einmaliger Blick in die Kammer ermöglicht wurde. Dort konnte man den Schubrost der Rostverbrennung genau erkennen. Das bei der Verbrennung entstandene Rauchgas strömt durch einen Wärmetauscher und erzeugt Dampf. Dieser treibt die Turbine an, welche den Strom generiert. Zudem wird Wärmeenergie gewonnen, welche in die Nahwärmenetze eingespeist wird. Nachdem das Rauchgas durch die Turbine geströmt ist, wird es in mehreren Stufen von Staub, Stickoxiden, Halogenen und organischen Schadstoffen gereinigt, bevor es in die Umwelt gelangt.



*Im Inneren der Müllverbrennungsanlage, Foto J. Dach*

Die Abfallverbrennungsanlage forscht momentan an einem Carbon Capture Verfahren, mit dem zukünftig Kohlendioxid aus dem Rauchgas entnommen werden soll. Dies ist wichtig für die Stadt Kopenhagen, um ihr Ziel der CO<sub>2</sub>-Neutralität zu erreichen. Mit diesem Verfahren könnten 500.000 t CO<sub>2</sub> eingespart werden, was mit dieser Menge an CO<sub>2</sub> im Nachhinein geschieht steht jedoch noch nicht fest.

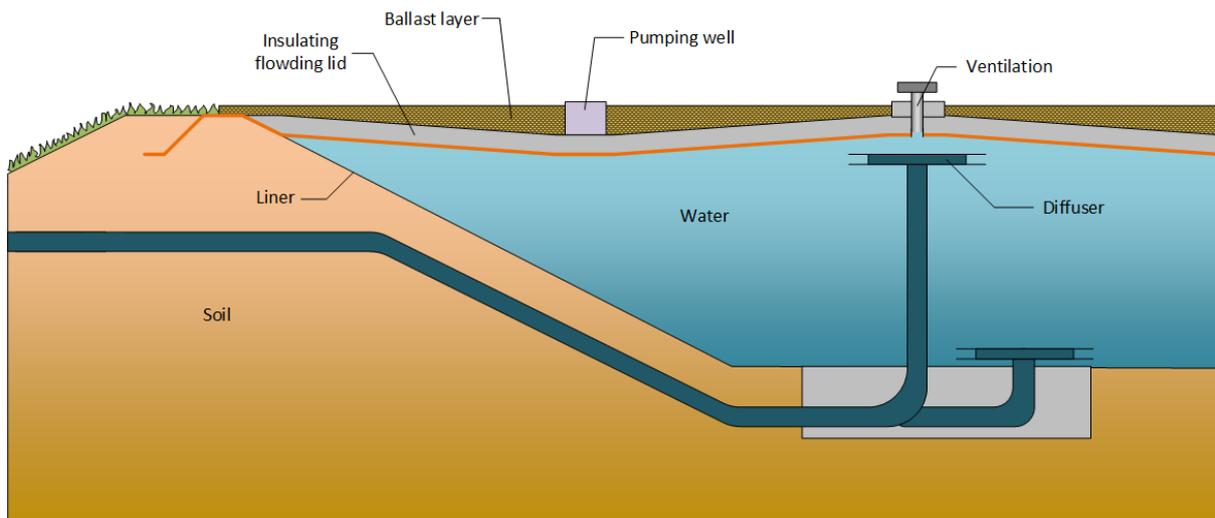
Datum: 29.09.2022  
 Exkursionsziel: Baustelle Erdbeckenspeicher, Høje Taastrup Fernwärme  
 Betreuer: Frau Birnbaum (Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a.)  
 Protokoll: Hannes Erhardt

## Baustelle Erdbeckenspeicher Fernwärme, Høje Taastrup (DK)

Am Donnerstagvormittag besichtigten wir eine Baustelle und erhielten im Anschluss durch den Betreiber eine kurze PowerPoint-Präsentation.

Im Großraum Kopenhagen ist die Wärmeversorgung durch ein Nah- und Fernwärmenetz gesichert. Das Netz wird durch lokale Unternehmen ausgebaut und betrieben, für das Übertragungsnetz ist das Unternehmen VEKS zuständig.

Die Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a. (zu Deutsch Høje Taastrup Fernwärme GmbH) betreibt zusammen mit VEKS ein Entwicklungsprojekt für Pit Thermal Energy Storage (PTES). Das PTES soll der Reduzierung von Spitzenlasten im Nahwärmenetz dienen. Dabei handelt es sich um einen Wochenspeicher, dieser hat ein Fassungsvermögen von 70.000m<sup>3</sup> Wasser respektive 3.300 MWh.



Querschnitt einer PTES, Quelle: helioscsp.com

Der Bau des PTES nahm zwei Jahre in Anspruch und ist der erste Wochenspeicher dieser Art in Dänemark. Bei unserem Besuch wurde die Ballastschicht aufgetragen.

Aktuell wird mit einer Amortisationszeit für das Vorhaben von 8-10 Jahren gerechnet. Während des Baus kam es zu großen Erdbewegungen, diese wurden auf dem angrenzenden Grundstück zwischengelagert, wodurch die Kosten für das Vorhaben gesenkt werden konnten. Außerdem ist die Lage des PTES mit einer Entfernung von ca. 700 m zu einer Fernwärmeübertragungsstation logistisch günstig gelegen. Das Becken hat eine Tiefe von 17 m und eine Oberfläche von 11.000 m<sup>2</sup>. Das eingeleitete Wasser kommt aus dem Fernwärmenetz mit einer Vorlauftemperatur von 105-115 °C. Dabei wird das Wasser nur bei niedrigen Wärmepreisen eingeleitet. Bei Spitzenlast und entsprechend hohen Wärme-

kosten wird der PTES genutzt um das Wasser mit 95 °C in das Nahwärmenetz des Gebietes Høje Taastrup einzuleiten. Dadurch kann die Verwendung von fossil betriebenen Wärmeerzeugern für die Spitzenlasten reduziert werden.

Das Wasser aus der Fernwärmeleitung wird beim Laden des Speichers über den oberen Diffusor in das Becken eingelassen, dadurch wird eine gleichmäßige Verteilung der Wärme sichergestellt. Über den unteren Diffusor wird beim Laden das Wasser in das Fernwärmenetz zurückgeleitet. Beim Entladen fließt das Wasser über den oberen Diffusor in das Nahwärmenetz und kehrt von dort über den unteren Diffusor zurück in den Speicher. Die schwimmende Deckschicht auf dem Wasser besteht aus einem neuartigen PP-Liner und einer Isolationsschicht, welche zusätzlich mit Ballast versehen wird. Die technische Herausforderung an die Deckschicht wird durch die Bewegung des Wassers, die Ansammlung von Feuchtigkeit auf der Innenseite des PP-Liners sowie Auflasten bestimmt. Nachfolgend sind einige Impressionen der Baustelle abgebildet.



*Baustelle Erdbeckenspeicher Taastrup (Aufbringen der Ballastierung/ Textil zwischen Isolation und Schüttung/ Noch nicht ballastierter Beckenbereich), Fotos: H. Erhardt, J. Meng*

Seit der ersten Ölkrise 1973 hat Dänemark beschlossen seine Wärmeversorgung unabhängig von Gas und Öl auszubauen. Dazu wurden die Kraftwerke mit Kraftwärmekopplungen ausgestattet und ein Wärmenetz ausgebaut. Die lokalen Betreiber der Nah- und Fernwärme wie Høje Taastrup Fjernvarme mit 20 Mitarbeitenden sind als Genossenschaft organisiert, wo die Kund:innen Mitglieder sind und die Gremien wählen. Durch Wärmenetze und den Vertrieb von Wärme darf in Dänemark keine Gewinnmarge erzielt werden. Die Betreiber-Genossenschaften dürfen keinen Gewinn erzeugen, wodurch die Kosten für die Kund:innen geringer bleiben. Es besteht jedoch auch eine Anschlusspflicht an das Wärmenetz.

Besonders interessant war außerdem das Abrechnungssystem, welches niedrigeren Rücklauftemperaturen (durch fehlerfreie Anlagen mit sinnvollen Betriebskonzepten auf Kundenseite) mit geringeren Jahreskosten belohnt, da somit die Effizienz des Systems gesteigert wird und die Kund:innen zum Energiesparen motiviert werden.

Datum: 29.09.2022  
 Exkursionsziel: DTU Windtunnel/Turbinenteststand, Roskilde  
 Betreuer: Herr Gaunaa (DTU)  
 Protokoll: Lucy Kraus

### DTU Windtunnel/Turbinenteststand, Roskilde (DK)

Auf dem Hauptcampus „Wind“ der DTU in Lyngby arbeiten ca. 4.000 Angestellte und er wird von ca. 1.000 Studenten besucht. Herr Gaunaa gewährte uns hier Einblicke in die aerodynamischen Forschungsbereiche.

Organisiert ist der Campus in verschiedenen Sektoren, wie z.B. "Aerodynamic", "Wind Turbine Design" oder "Wind Energy Systems". Beispiele für die Arbeit im aerodynamischen Bereich sind die sogenannten "Computational Fluid Dynamics", dabei werden Turbulenzen und Windgeschwindigkeiten modelliert. Diese Arbeit ist für die Forschung wichtig, um mehr über die ideale Formation von Turbinen in einem Windpark zu lernen. Es kann festgestellt werden, wie Turbinen weiter hinten durch Verwirbelungen der vorderen beeinflusst werden.

Bei anderen Modellierungen werden verschiedene Formen der Rotorblätter untersucht. Die Erkenntnisse werden genutzt, um aerodynamische und elastisch zugeschnittene Designs für bestimmte Anforderungen zu entwickeln.

Durch die Forschungen wird zum einen der physikalische Prozess besser verstanden und zum anderen sollen durch die Erkenntnisse leisere Turbinen entwickelt werden.

Der von den Rotorblättern verursachte Lärm zusammen mit den auf die Blätter wirkenden Kräfte werden im Windtunnel, dem Poul La Cour Tunnel, untersucht.



*Im Labor des Windtunnels/Turbinenteststands der DTU, Foto S. Knoll*

Der Tunnel wurde zehn Jahre lang entwickelt und ist seit 2018 auf dem Campus im Einsatz. Da der Tunnel einmal im Kreis führt, wird die Luft zirkuliert, um Energie zu sparen und die Temperatur kontrollieren zu können. Die Hälfte der Tests dienen der Forschung, die andere Hälfte dient kommerziellen Zwecken. Da der Tunnel so gut wie dauerhaft in Betrieb ist, hatten wir großes Glück, dass wir ihn von innen besichtigen durften. Auch Studenten, die an den Windenergie-Wettbewerben teilnahmen, durften ihre selbstgebaute Windturbinen im Tunnel testen.



*Rundgang durch Windtunnel der DTU, Foto J. Meng*

Draußen auf dem Gelände standen unter anderem Laser-Windmessgeräte, kleine superleichte Windturbinen für Experimente, kleine Turbinen mit 2 Rotorblättern, und alte ausrangierte Rotorblätter. Für uns Studenten war es sehr interessant diese Rotorblätter einmal aus der Nähe zu betrachten und auch ihr Inneres anschauen zu können.



*Lager von getesteten Rotoren/Flügeln, Foto S. Knoll*

Datum: 29.09.2022  
Exkursionsziel: Fernwärme Præstø  
Betreuer: Herr Trier (Præstø Fjernvarme)

Protokoll: Vera Weber

### Fernwärme Præstø (DK)

Am Donnerstagnachmittag hat uns der Technische Berater Daniel Trier an der Fernwärmanlage in Præstø empfangen. Herr Trier gab uns einen kurzen Überblick über die Entstehung der Anlage und ein paar allgemeine Informationen. Durch die Præstø Fjernvarme a.m.b.a. werden ca. 1250 Verbraucher mit Wärme versorgt. Im gesamten Einzugsgebiet umfasst dies 694 installierte Zähler. Nach dem Energieversorgungsgesetz aus dem Jahr 1979 ist die Fernwärmeversorgung in Dänemark non-profit. Dadurch werden die Energiepreise niedrig gehalten. Die Wärmepreise richten sich nach den Kosten für die Versorgung. Für die Gewinnung der Wärme werden in der Præstø Fjernvarme-Anlage Gas, Elektrizität, Holzpellets und Solarthermie verwendet. Die produzierte Menge kann je nach Bedarf geregelt werden. Während der Führung konnten wir die verschiedenen Arten der Wärmegewinnung betrachten.



*Holzpelletboiler, Foto S. Knoll*

Zu Beginn hat uns Herr Trier die Gasboiler und die elektrischen Boiler vorgestellt. Im Anschluss haben wir uns in einem weiteren Raum den Holzpelletboiler angeschaut. Dänemark ist der größte Holzpellet-Importeur. Das Silo für die Speicherung der Holzpellets ist außerhalb des Gebäudes angebracht. Auf der linken Seite des Gebäudes befindet sich seit 2021 ein Solarthermiefeld. Dieses wurde von Arcon Sunmark produziert und hat eine Größe von 8683 m<sup>2</sup> mit 638 Paneelen. Die Solarthermie ist eine günstige Alternative für die Senkung des Gasverbrauchs. Eine durchschnittliche Solarthermieanlage deckt knapp unter 20 % des jährlichen Wärmebedarfs ab.

Bei dem Bau der Solarthermie wurde auf eine Verbesserung der Biodiversität geachtet. Die für die Solarthermie bereitgestellte Fläche war zuvor eine industriell genutzte Fläche. Eine Ammonium-Wärmepumpe stellt die Wärme für den Endverbraucher zur Verfügung. Zwischen dem Anlagengebäude und dem Solarthermiefeld befindet sich der Verdampfer der Wärmepumpe, wo die Außen-Luft als Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt wird.



*Solarthermiefeld und Kühlanlage, Foto H. Erhardt*

Die Führung auf dem Anlagengelände der Præstø Fjernvarme a.m.b.a. durch Herr Trier hat uns die Möglichkeit gegeben spannende Einblicke hinter die Kulissen der Fernwärmeversorgung in Dänemark zu werfen und die anlagenspezifischen Merkmale vor Ort zu betrachten. Dafür möchten wir uns bei Herr Trier und der Præstø Fjernvarme a.m.b.a. bedanken.



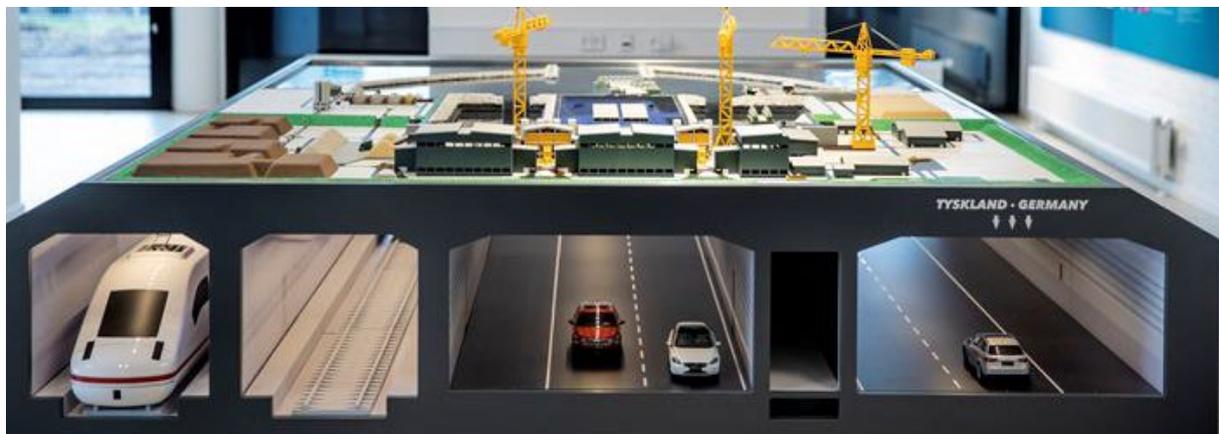
*Auf dem Dach der Kühlanlage, Foto S. Knoll*

Datum: 30.09.2022  
 Exkursionsziel: Baustelle Tunnel Fehmarnbelt (Femern A/S), Rødby  
 Betreuerin: Frau Grethe-Hoegh (Femern A/S)  
 Protokoll: Yoanna Kaisler

### Baustelle Tunnel Fehmarnbelt (Femern A/S), Rødby (DK)

Am Freitagvormittag haben wir das Infocenter des Fehmarnbelt-Tunnel in Rødbyhavn besucht. Der Fehmarnbelt-Tunnel wird mit 18 km der längste Absenktunnel der Welt sein. Er verbindet Deutschland und Dänemark über den Fehmarnbelt (Ostsee) und schließt so eine bedeutende Lücke im Schienennetz, wodurch die Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene gefördert wird. Güter im Schienenverkehr müssen nicht mehr über den Großen Belt transportiert werden, womit sich die Strecke um 160 km verkürzt und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß sich bedeutend verringert. Auch der Personentransport wird erheblich vereinfacht: Mit dem Zug dauert die Überfahrt nur 7 Minuten und mit dem Auto 10 Minuten. Die Zugstrecke von Hamburg nach Kopenhagen wird zukünftig nur noch 2,5 Stunden statt 5 Stunden betragen.

Die Planung des dänischen Projekts begann bereits 1960. Im nächsten Jahr soll der Einbau der Tunnelelemente beginnen und im Jahr 2029 soll der Tunnel fertiggestellt werden. Die Lebensdauer soll 120 Jahre betragen. Der Tunnel ist in vier Abschnitte unterteilt; zwei Abschnitte für die Autos und zwei Abschnitte für den IC-Verkehr. Die Höhe wird 12 m und die Breite 100 m betragen.



*Modell des Tunnelquerschnitts, Quelle: [www.femern.com](http://www.femern.com)*

Nicht weit vom Tunnelportal in Rødbyhavn befindet sich der Arbeitshafen. Hier werden momentan die Tunnelelementfabrik fertiggestellt und zukünftig die benötigten Tunnelbaumaterialien gelagert. Die Fabrik wird innerhalb von 3,5 Jahre 79 Standartelemente und 10 Spezialelemente fertigen. Ein Standardelement ist 217 m lang, 100 m breit, 14 m hoch und ca. 73.000 Tonnen schwer.



*Modell des Bauhafens in Rødby, Foto: J. Meng*

Nach der Fertigstellung eines Elements werden die Enden mit Schotten luftdicht verschlossen und ins Wasser gelassen. Mithilfe von Schleppern werden die Elemente an die jeweilige Stelle im Fehmarnbelt transportiert und mit hoher Präzision in einen Tunnelgraben abgesenkt. Um die Tunnelelemente absenken zu können, werden eingebaute Ballasttanks mit Wasser gefüllt. Die einzelnen Elemente werden mithilfe von Unterdruck miteinander verbunden. Sobald die Elemente verbunden sind, muss noch die technische Ausrüstung installiert und der gesamte Tunnel mit einer schützenden Steinschicht bedeckt werden.

Insgesamt 19 Millionen m<sup>3</sup> Meeresboden werden für den Tunnelgraben ausgehoben. Das Aushubmaterial besteht zum größten Teil aus Sand und Kies und wird zur Landgewinnung und Küstenerweiterung in Rødby eingesetzt. Auf diesen gewonnenen Flächen sollen Natur- und Erholungsgebiete entstehen. Im Rahmen dieses Projektes werden weitere Ausgleichsmaßnahmen vorgenommen. Es entstehen weitere Naturflächen auf Lolland und in Fehmarn werden Ausgleichsflächen für verschiedene Vogelarten angelegt. Allein in Rødby werden die Naturflächen 60 Hektar betragen. Außerdem werden 42 Hektar Steinriff wiederhergestellt, welche durch jahrzehntelanger Steinfischerei in der Ostsee verloren gingen.



*Fahrt auf die Fähre nach Puttgarden (Fehmarn), die durch den Tunnel ersetzt werden soll, Foto: S. Knoll*

Datum: 30.09.2022  
Exkursionsziel: Deponie Ihlenberg (IAG - Ihlenberger Abfallentsorgung)  
Betreuerinnen: Frau Puskeiler (IAG), Frau Kalfack (IAG)

Protokoll: Jens Bleyer

### Deponie Ihlenberg (IAG - Ihlenberger Abfallentsorgung)

Die Besichtigung begann mit der Begrüßung durch Frau Kalfack und Frau Puskeiler. Beide stellten sich der Gruppe vor und erläuterten kurz ihren Werdegang. Sie berichteten von ihren abwechslungsreichen und vielfältigen Aufgaben im Rahmen des Deponiebetriebs. Anschließend schauten wir den etwa sieben-minütigen Unternehmensfilm an, um uns einen ersten Eindruck über die Ausmaße und Vorgänge, die zum Betrieb einer solchen Deponie nötig sind, machen zu können. Danach starteten wir zur eigentlichen Besichtigung bzw. Befahrung der Deponie (Deponieklasse 3, gefährliche Abfälle), die uns gleich auf den Gipfel des rund 60m hohen Deponiekörpers führte.



*Begrüßung durch Frau Puskeiler und Frau Kalfack, Foto S. Knoll*

Die Deponie wurde Ende der 70er Jahre in der DDR errichtet, ist eine der größten Sonderabfalldeponien Europas und umfasst heute eine Gesamtfläche von rund 165 ha. Hiervon stehen rund 113 ha zur Deponierung zur Verfügung. Die übrige Fläche wird durch Geschäfts- und Betriebsgebäude sowie Freiflächen und Fahrwege genutzt. Zu den Betriebsgebäuden gehören unter anderem eine Abfallbehandlungs- und -sortieranlage für Restabfälle, eine Fahrzeugwäsche, zur Beseitigung möglicherweise schädlicher Deponiestäube, eine Anlage zur Nachbehandlung der Deponiegase und -wässer sowie ein haus-eigenes Labor.



*Vorstellung der Anlage, Foto S. Knoll*



*Auf dem Deponiegipfel, Foto S. Knoll*

Bei der Anlage zur Nachbehandlung der Deponiewässer stellte sich uns Herr Bäuerle vor, der uns dann durch die Prozessschritte der Umkehrosmoseanlage führte. Hier werden die jährlich anfallenden rund 110.000 m<sup>3</sup> Deponiesickerwässer gereinigt. Gleich nebenan befindet sich das BHKW, das das verwertbare Deponiegas in Wärme und Elektrizität umwandelt. Hierbei wird nicht nur der eigene Energiebedarf gedeckt, sondern auch zeitweise überschüssige elektrische Energie dem Stromnetz zugeführt.



*Umkehrosmoseanlage, Foto S. Knoll*

Zuletzt besichtigten wir noch die Laboreinrichtung, wo über 100 Laborparameter erfasst werden können. Hier wird jeder Zugang zur Deponie beprobt und der Schadstoffgehalt ermittelt. Zum Zeitpunkt unserer Besichtigung waren große Flächen des Deponiekörpers mit einer temporären Rekultivierungsschicht bedeckt. Für die Zukunft, wenn sich der Deponiekörper ausreichend gesetzt hat, ist angedacht auf die abschließende Rekultivierungsschicht PV-Anlagen zu installieren, um eine zusätzliche Flächennutzung zu erzielen. Auch gibt es Bestrebungen eine südlich gelegene Freifläche zukünftig zu nutzen, um den Deponiekörper auszuweiten und somit die Nutzungsdauer der Deponie zu verlängern.

## Exkursions-Impressionen



*Abendstimmung an der Jugendherberge in Hamburg, Foto C. Lehmann*



*Hafenimpressionen auf Fünen, Foto: H. Erhardt*



*Fahrrad-Schnellstraße in Kopenhagen, Foto J. Dach*

## Exkursions-Impressionen



*Møns Klint, Foto J. Meng*



*Auf der Fähre nach Fehmarn, Foto S. Knoll*



*Ein regnerischer Morgen in der Hamburger Speicherstadt, Foto S. Knoll*



# 4. Wasser & Umwelt - Exkursion (2022)

Vom 25.09 bis 01.10.2022 fand die 4. Wasser & Umwelt - Exkursion der Fakultät Bauingenieurwesen unter der Leitung der Professoren Dach, Knoll, Meng und da Silva statt.

Teilnehmer der Exkursion waren Studierende der Bachelor- und Master-Studiengänge "Bauingenieurwesen" (Vertiefung Wasser/Verkehr) des Bachelor-Studiengangs "Umwelttechnik und Ressourcenmanagement" und des Master-Studiengangs „Umweltingenieurwesen“ (Vertiefung Wasser, Umwelt, Verkehr) der HTWG Konstanz.

Auf dieser Exkursion besichtigten wir Anlagen des Wasserbaus (Baustellen Schleuse Nord-Ostsee-Kanal und Fehmarnbelt-Tunnel), der Siedlungswasserwirtschaft (Großkläranlage, Anlagen zur Starkregenvorsorge/Regenwassermanagements), der Abfallwirtschaft & Umwelttechnik (Müllverbrennungsanlage, Großdeponie, Abfallwirtschaftsbetrieb) und der Energiewirtschaft (Baustelle Erdspeicherbecken, Forschung Windenergie, Fernwärmebetrieb) und informierten uns über das Verkehrskonzept Kopenhagens und den Lebensraum der dänischen Ostsee.

Einige Anlagen befanden sich zum Zeitpunkt der Exkursion im Bau. Bei den Führungen und Vorträgen vor Ort bekamen die Studierenden vielfältige und exklusive Einblicke in die Berufswelt von Ingenieur\*innen ihrer Studienrichtungen.

Die Exkursion führte uns mit drei Kleinbussen von Hamburg durch das norddeutsche Flachland nach Dänemark zur Hauptstadt Kopenhagen und von dort über die Vogelfluglinie zurück nach Hamburg. Der Transfer von Konstanz nach Hamburg und zurück erfolgte mit der Bahn. Einige Studierende fuhren mit dem Fahrrad nach Hamburg.

Folgende Exkursionsziele/-programme wurden besucht: Kläranlage Hamburg (Hamburg Wasser), Schleusenbaustelle Nord-Ostsee-Kanal in Brunsbüttel, Gebrauchtgüterkaufhaus "Kaufbar" in Büdelsdorf, Abfallwirtschaftsbetriebe Rendsburg/Eckernförde, Fjord & Bælt in Kerteminde, Green Copenhagen (Fahrrad-Exkursion), Starkregenmanagement Kopenhagen (Ingenieurbüro Rambøll), Müllverbrennungsanlage Kopenhagen (Copenhill A/S), Baustelle Erdspeicher Høje Taastrup, DTU Windtunnel/Turbinenteststand Roskilde (Technical University of Denmark), Præstø Fernwärme, Baustelle Fehmarnbelt-Tunnel (Femern A/S), Deponie Ihlenberg (IAG - Ihlenberger Abfallentsorgung)

**HTWG**  
**Hochschule Konstanz**  
Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Alfred-Wachtel-Straße 8 D-78462 Konstanz  
Telefon +49 7531 206-0  
Fax +49 7531 206-400  
kontakt@htwg-konstanz.de  
www.htwg-konstanz.de  
www.instagram.com/htwgkonstanz  
www.facebook.com/htwgkonstanz

**H T**  
**W B**  
**G I**