



Aus Forschung und Lehre

Seite 70

University of Applied Sciences

Aus dem Inhalt	
Arne Bender Ein Gedanke vorweg	Seite 1
Roland Hamelmann, Fritz Crotogino Wasserstofftechnik zur Netzstabilisierung	Seite 2
Georg Conradi, Manfred Logemann, Steffen Slama Reet - nichts als Schall und Rauch?	Seite 9
Matthias Grottker, Benjamin Heemeier Bodenfilterkaskaden - neue Wege in der Regenwasserbewirtschaftung	Seite 22
Birgit Schädel, Gerrit Rüdiger, Olaf Jacobs, Ines Arzer, Uwe Eschner Auswirkung verschiedener Nanopulver im Epoxidharz auf Verschleiß	Seite 30
Stefan Krause Schwarmintelligenz - Was ist das und welcher Nutzen steckt dahinter?	Seite 40
Annegret Reski, Stefan Goes Schlüsselkompetenzen in der Personalentwicklung - Lernen mit neuen Medien	Seite 45
Kristina Schütt, Ronny Schmidt, Matthias Grottker, Andreas Plenz, Martin Oldenburg Stoffstromtrennung zur Ertüchtigung von Abwasseranlagen am Beispiel der Untergrundverrieselung	Seite 51
Aus den Fachbereichen: Sven Kulka	
Strom immer - ein Projekt in Lübeck zeigt wie es funktioniert	Seite 62
Jürgen Tchorz Störgeräuschunterdrückung in Hörgeräten	Seite 63
Benjamin Heemeier, Matthias Grottker Wasserwirtschaftliche Anlagen in der historischen Oasenstadt Tayma	Seite 65
Olaf Jacobs, Andreas Hof Kompetenz in Kunststoffen	Seite 68
Neue Bücher:	

Henning Schwarz, Traute Heinemann

Neuerscheinungen

13. Jahrgang - Februar 2009 ISSN: 1618-5528



www.foerdergesellschaft.fh-luebeck.de



www.fh-alumni.net

Ein Gedanke vorweg

Wir befinden uns in einer besonderen Finanz- und Wirtschaftskrise. Ob diese nun eine der schwersten ist und ob alle Rettungsschirme und Konjunkturpakete notwendig sind, darüber lässt sich streiten.

Fakt ist, dass die Märkte sich wieder erholen werden und es wieder aufwärts gehen wird. Wie jeder, und damit meine ich Unternehmen, öffentliche Einrichtungen und jeden einzelnen von uns, an dem "Aufwärts" teilhaben wird, hängt von den Produkten, den Dienstleistungen und den Qualifikationen ab.

In einer Krise muss das angepackt werden, was sonst im Tagesgeschäft untergeht. Es gilt Qualifikationsmöglichkeiten zu nutzen, die Produkte zu überdenken und zu verbessern und die Abläufe zu optimieren. Gerade in der Krise sollten Investitionen durchgeführt und die Innovationen gestartet und umgesetzt werden. Auch bei knappen Finanzmitteln können von Unternehmen bei Produktinnovationen z.B. Bundes- oder Landesförderprogramme genutzt werden. In Schleswig-Holstein gibt es Einrichtungen, wie die WTSH, die Investitions- und Bürgschaftsbank, die ISH, die Industrie- und Handelskammern, die Handwerkskammern und auch regionale Wirtschaftsfördergesellschaften, die dabei helfen.

Da jetzt auch Zeit vorhanden ist, sollten die bisher aufgeschobenen Kontaktaufnahmen zu den Hochschulen und Forschungseinrichtungen bezüglich des Technologie-Transfers und einer Zusammenarbeit starten. Hier haben Unternehmen auch die Gelegenheit Studenten und somit mögliche Mitarbeiter kennen zu lernen.

Bei aller Krisenstimmung gilt es erst recht in Mitarbeiter zu investieren. Vergangene Krisen zeigten, dass Einstellungstops oder gar Entlassungen gerade von Akademikern die falschen Signale waren und sich dann in der Folgezeit rächten.

Ich wünsche Ihnen und uns allen Optimismus und dass diese Krise schnell überstanden ist und wir mit Innovationen erfolgreich durchstarten.

Viel Spaß beim Lesen der neuen ImpulsE. Vielleicht erhalten Sie Anregungen für Innovationen und interessante Kontakte zur FH Lübeck.

Prof. Dr. Arne Bender

FH Lübeck, FB Maschinenbau und Wirtschaft

Ane Denols

Wasserstofftechnik zur Netzstabilisierung Großstromspeicher für Windkraftspitzen

Roland Hamelmann, Fritz Crotogino

Die Anbindung großer fluktuierender Stromerzeuger wie Offshore-Windparks an das Stromnetz stellt eine besondere Herausforderung dar. Konventionelle Technologien scheinen für die Einspeisedämpfung hinsichtlich ihrer Kapazität sowie der technischen Machbarkeit nicht auszureichen. Die Wasserstofftechnik könnte jedoch dazu beitragen, die Dämpfungsproblematik nachhaltig zu lösen. Für die dabei anfallende Zwischenspeicherung großer H₂-Mengen bieten sich Salzkavernen an, wie sie auch zur Erdgasspeicherung angelegt und genutzt werden.

Die Einspeisung diskontinuierlicher Stromerzeuger in das öffentliche Stromnetz nahm bislang - begünstigt durch das EEG-kontinuierlich zu. Das Problem damit im Stromnetz ist bekannt: Wind und Sonne kooperieren nicht immer mit den Kunden, die auch dann Licht, Kraft und Information haben wollen, wenn Windräder und Photovoltaikelemente keine elektrische Leistung abgeben. Verbrauch und Erzeugung regenerativer Energie müssen zeitlich in Einklang gebracht werden, anders funktioniert das elektrische Stromnetz nicht. Es sei denn, ein oder mehrere Stromspeicher in der Größenordnung GWh würden Angebot und Bedarf "auspuffern".

Mittelfristig wird sich an der Problematik nichts ändern, denn die Windkraftnutzung auf See mit Offshore-Windparks (OWP) steht in den Startblöcken. Wenn zwischen Ankündigung der Vorhaben und deren Umsetzung bislang auch mehr Zeit als geplant verstrich, ist jetzt ein Aufbruch zu erkennen: Fertigungsanlagen werden errichtet und Bestellungen ausgelöst. Innerhalb der nächsten zehn Jahre ist also mit dem Aufbau von mehreren OWP in der deutschen Nord- und Ostsee mit einer Gesamtleistung von mehreren tausend Megawatt zu rechnen.

Physikalisch gesehen gibt es für die Speicherung elektrischer Energie prinzipiell folgende Möglichkeiten:

- · Batteriespeicher
- · Pumpspeicherkraftwerke
- Druckluftspeicherkraftwerke
- Wasserstoff
- Schwungräder
- · Supraleitende Magnetische Energiespeicher

Batteriespeicher: Batterien (genau genommen Akkumulatoren oder galvanische Sekundärelemente) speichern elektrische Energie in Form von chemischer, sie sind die älteste und gebräuchlichste Form der Stromspeicherung. Für die Speicherung von Energien in der Größenordnung von Kraftwerken eignen sich verschiedene Typen von Batterien, hierzu zählen:

<u>Bleiakkus:</u> Blei-Säure-Batterien werden seit über 130 Jahren verwendet und kontinuierlich weiterentwickelt, sie sind auch heute noch der am weitesten verbreitet Batterietyp. Durch die stetige Weiterentwicklung sind diese heute preiswerte und zuverlässige Batteriespeicher. Allerdings ist die Energiedichte, obwohl sie in den letzen 50 Jahren stark erhöht wurde (+50%), relative gering, was die Batterie groß und schwer macht. Des Weiteren sind sie empfindlich in Bezug auf niedrige Temperaturen und erfordern somit eine Temperaturkontrolle/Regelung. Trotz dieser Nachteile arbeiten die Zellen bei kleineren Speicheraufgaben wirtschaftlich. Die technisch größten Batteriespeicher sind Blei-Säure-Batterien und haben eine Kapazität von 40 MWh und eine Spitzenleistung von 20 MW.

NiCd: Nickel Cadmium Batteriesysteme sind nahezu so lange bekannt wie Blei-Säure-Syteme. Sie wurden vornehmlich für sog. Schnurlosgeräte wie z.B. Handys oder Akku Bohrschrauber verwendet, allerdings wurden sie in den letzten Jahren aus diesem Segment stark verdrängt. Ein großes Problem von NiCd-Batterien ist der auftretende sog. Memory-Effekt, welcher es nötigt macht die Zellen vor einen erneuten Ladezyklus vollständig zu entleeren um keine Kapazitätsverluste zu erleiden. Der Hauptvorteil von NiCd gegenüber Blei-Säure ist der geringere Wartungsaufwand. Somit werden die Zellen vorzugsweise im Bereich von höchstverlässlichen Anwendungen, wie z.B Notbeleuchtungen oder Generatorstartsystemen eingesetzt. Cadmium ist allerdings ein giftiges Schwermetall, was Bedenken, bezüglich einer umweltgerechten Entsorgung, aufkommen lässt.

Natrium-Schwefel-Batterie (NaS): Die Natrium-Schwefel-Batterie ist eine Hochtemperaturzelle, welche bei 300-350°C ihren optimalen Betriebspunkt hat. Hochtemperaturzellen haben im Allgemeinen eine bessere Performance verglichen mit normalen Zellen, allerdings ist hier auch der Aufwand zu sehen, welcher nötig ist um gute Wärmeisolierung zu ermöglichen. Trotz der Tatsache, dass keine Selbstentladung bei diesem Batterietyp stattfindet ist zu bedenken, dass eine gewisse Menge an Energie aufgebracht werden muss um die Betriebstemperatur zu halten. Trotzdem haben diese Zellen einen Gesamtwirkungsgrad von stolzen 90%.

<u>ZEBRA-Batterie</u>: Die ZEBRA Batterie ist wie die NaS Zelle eine Hochtemperaturzelle. Vorteile zu NaS Zellen sind: Die Widerstandsfähigkeit gegen begrenztes überladen, höhere Zellspannung und bessere sicherheits- Charakteristiken. Jedoch ist die Energiedichte geringer im Vergleich zu NaS.

<u>Lithium Ion:</u> 1990 brachte Sony die ersten kommerziellen Li-Ion Batterien heraus. Hauptvorteil der Zellen ist die Hohe Zyklenfähigkeit. Allerdings gibt es bislang noch keine Anwendungen im Megawattbereich.

Es hat sich gezeigt, dass Batteriespeicher höchstens für kurzzeitige Lastspitzen, jedoch nicht für Beispielsweise den Tag-/Nacht-Lastausgleich geeignet sind, da sie preislich nicht mit traditionellen Speichermethoden wie z.B. Pumpspeichern konkurrieren können.

Anwendung finden Batteriespeicher zur Zeit vor allem zur Überbrückung bei kurzzeitigen Netzausfällen oder Schaltvorgängen.

Pumpspeicherkraftwerke: Pumpspeicherkraftwerke werden seit den 20er Jahren als Energiespeicher verwendet; sie bestehen aus zwei Gewässern (Ober- und Unterbecken) und einer Pump- bzw. Turbinenstation. Die Funktionsweise des Pumpspeicherkraftwerks ist damals wie heute gleich geblieben: die Energie wird durch Umwandlung von elektrischer in potentielle Energie gespeichert.

Im Speicherbetrieb befördert eine Pumpe Wasser über eine Rohrleitung in ein hochgelegenes Speicherbecken bzw. Oberbecken. Wird Energie zur Deckung des Spitzenstrombedarfs benötigt, müssen die Pumpspeicherkraftwerke so schnell wie möglich die erforderliche elektrische Energie bereitstellen. Die Flussrichtung des Wasser geht jetzt entgegengesetzt vom Oberbecken zum Unterbecken. Über Ventile wird der Weg des Wassers nicht mehr über die Pumpe sondern durch die Turbine geleitet. Das strömende Wasser bringt die Turbine zur Rotation, die wiederum den jetzt geschalteten Generator antreibt. Die elektrische Energie wird so wieder zur Verfügung gestellt.

Pumpspeicherkraftwerke werden so konfektioniert, dass sie mindestens 4-8 Stunden maximale elektrische Leistung abgeben können. Sobald überschüssige Energie vorhanden ist muss das Kraftwerk wieder in den Speicherbetrieb übergehen, um anschließend wieder Energie zur Verfügung stellen zu können.

Da der Maschinensatz eines Pumpspeicherkraftwerk nicht verlustfrei betrieben werden kann, ist die abgegebene Energie immer weniger, als die zuvor zugeführte Energie. Der Wirkungsgrad liegt bei 75%. Ein weiterer Nachteil ist die Standortfrage. Pumpspeicherkraftwerke können nur an Stellen mit einem natürlichen Höhenunterschied (größer 80 m, typischerweise größer 300 m) gebaut werden. Zusätzlich muss genügend Platz für das Oberbecken vorhanden sein. Am unteren Teil der Anlage muss sich ebenfalls ein Gewässer befinden, dem Wasser entnommen und zugeführt werden kann. Für eine 600MWh Anlage (Geesthacht) ist bspw. ein Stausee mit 3,3 Mio m³ Wasserinhalt nötig.

In Deutschland werden derzeit mehr als 20 Pumpspeicherkraftwerke mit einer Spitzenleistung von rund 3.000 MW betrieben; damit ist aufgrund der geologischen Verhältnisse und der Genehmigungslage auch die Obergrenze erreicht.

Druckluftspeicherkraftwerke: Auch hier wird die elektrische Energie in mechanische Energie gewandelt und gespeichert. Mit (zeitlich oder örtlich) überschüssigem Strom wird Luft komprimiert und eingelagert, bspw. in eigens dafür ausgesolten Salzkavernen mit einem Volumen von mehreren hunderttausend m³. Dabei gibt es zwei Verfahren:

Das diabatische Druckluftspeicherkraftwerk: eine diabatische Zustandsänderung ist eine Zustandsänderung eines thermodynamischen Systems bei der mit der Umgebung Wärme ausgetauscht wird. In diesem Kraftwerk gelangt Luft zuerst in einen Niederdruckverdichter und wird in einem zweiten Schritt in einem Hochdruckverdichter. Bei dem Vorgang des Verdichtens erwärmt sich die Luft und muss gekühlt werden. Diese Abwärme wird in einem diabatischen Druckluftspeicherkraftwerk nicht genutzt, sie wird an die Umgebung abgegeben, die Druckluft wird in den Speicher geleitet.

Wenn jetzt später die Pressluft aus der Druckluftkammer entnommen wird, wird in einer Brennkammer zusätzlich Erdgas verbrannt.

Das adiabatische Druckluftspeicherkraftwerk ist ein neueres und verbessertes Druckluftspeicherkraftwerk mit deutlich besserem Wirkungsgrad. Eine adiabatische Zustandsänderung ist ein thermodynamischer Vorgang, bei dem ein System von einem Zustand in einen anderen überführt wird, ohne Wärmeenergie mit seiner Umgebung auszutauschen. Der prinzipielle Aufbau dieses Kraftwerks ist gleich wie der des diabaten Druckluftspeicherkraftwerkes. Der Unterschied besteht darin, dass die Abwärme, die bei der Komprimierung der Luft entsteht, gespeichert wird (z. B. keramische Materialien).

Dies macht den Einsatz fossiler Brennstoffe überflüssig, und lässt den Wirkungsgrad auf über 60% bis 70% steigen.

Derzeit wird in Deutschland ein Druckluftspeicherwerk im niedersächsischen Huntorf betrieben, weltweit gibt es derzeit nur noch ein zweites in den USA; beide werden diabatisch betrieben. Neuere Forschungen untersuchen die Wärmespeicherung und optimieren die Turbinen; eine Umsetzung zum adiabatischen Druckluftspeicherwerk steht noch an.

Wasserstoff: in einem Elektrolyseur kann Wasser mit elektrischem Strom in seine Elemente gespalten werden, Sauerstoff und Wasserstoff entstehen. Wasserstoff ist ein brennbares Gas mit einem Heizwert von ca. 3 kWh/m³ und einer Dichte von 89 g/m³. Es lässt sich speichern und bei Bedarf in geeigneten Anlagen (umgerüstete BHKW, Brennstoffzellen) wieder verstromen. Der besondere Charme des Wasserstoffs ist zum einen sein Speicherprinzip (chemische Energiespeicherung), zum anderen seine emissionslose Rückreaktion zu Wasser (Verbrennung oder Brennstoffzelle). Die emissionslose Rückverstromung macht diese Speicherform aber auch für mobile Anwendungen (Bus, PKW, Bahn) attraktiv.

Aufgrund der chemischen Energiespeicherung werden die erzielbaren Speicherdichten sehr hoch (Größenordnung 50-300 kWh/m³; zum Vergleich: Pumpspeicher 0,2 ... 4 kWh/m³, Druckluftspeicher 1,5 ... 6,0 kWh/m³). Dies wird dann wichtig, wenn große Energiemengen gespeichert werden müssen, wie beispielsweise in der Windkraft. Wasserstoff wird dann vorzugsweise komprimiert gespeichert, beispielsweise in Stahlbehältern oder Salzkavernen.

Nicht verschwiegen werden darf der Gesamtwirkungsgrad der Energiewandlungskette Strom-Wasserstoff-Strom, der bei ca. 30% liegt. Werden die regenerativ erzeugten Energiemengen aber vornehmlich ins Netz eingespeist und nur die Spitzen über den Wasserstoffweg "weggepuffert" liegt der Gesamtwirkungsgrad aber immer noch recht hoch. Bei der Transformation der typischen Stromerzeugungscharakteristik eines Windrads hin zu einem Einspeisen konstanter Leistung ("Strichbetrieb") geht nur rund ein Drittel der elektrischen Arbeit verloren; dieser Wert markiert die obere Grenze der Verluste.

Die Wasserstofftechnik befindet sich derzeit in Demonstrationsvorhaben und hat unter den Energiespeichern alleinig das Potential, regenerative Energie über den Jahresverlauf auszugleichen.

Schwungmassenspeicher: ein Schwungrad ist ein Maschinenelement, welches in der Lage ist, kinetische Energie zu speichern indem es seine Drehbewegung (Rotation) ausnutzt. Die wichtigste Gleichung zum Schwungrad ist $E=1/2 \cdot J \cdot \Omega^2$. Das Energiespeichervermögen lässt sich also effektiver über schnelle Rotation als über schwere Scheiben steigern. Der Vorteil bei solch einem System, besteht darin, dass sehr hohe Leistungen mit großer Zyklenzahl aufgenommen- bzw. abgegeben werden können. Auch können Schwungräder für eine Stabilisierung bzw. Lageregelung eingesetzt werden. Für die Speicherung von großen Energiemengen kommen Schwungräder aber nicht in Frage.

Supraleitende Magnetische Energiespeicher (SEMS): Eine eher etwas futuristische Art der Energiespeicherung sind die SMES.

Hier wird die Energie im magnetischen Feld gespeichert. Die Energie, die gespeichert werden kann, lässt sich mit $E = L \int I(t) dt = \frac{1}{2} * L * I^2$

berechnen (E in Ws, L = Induktivität der Supraleitenden Spule, I = Strom in der Spule). In der Spule fließt ein Gleichstrom und verursacht ein starkes magnetisches Feld. Die Technik der SEMS ist im Versuchsstadium und arbeitet noch nicht wirtschaftlich.

Fokus Wasserstoff

Die Notwendigkeit von Stromspeichern bei steigendem Anteil fluktuierender Einspeiseleistung liegt auf der Hand. Derzeit werden verschiedene Systeme entwickelt, die sich hinsichtlich Kapazität und Effizienz deutlich unterscheiden. Zukünftig wird ein Mix verschiedener Speicher das Stromnetz unterstützen müssen. Die "Studie zur Dämpfung der Netzbelastung durch Wasserstoffsysteme" des schleswig-holsteinischen Ministeriums für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr belegt die ausgleichende Einflussnahme von Wasserstoffsystemen auf die fluktuierende Einspeisung von Offshore-Windparks und die verbesserte Ankopplung an das landseitige Stromnetz (Abb. 1 bis 3).

Abbildung 3 vermittelt einen Eindruck von der jährlich anfallenden Wasserstoffmenge, die sich in der Größenordnung von einhundert Millionen Normkubikmeter (108 Nm³) bewegt. Der nachfolgende Verbrauch an Wasserstoff macht die Speicherung lediglich einer Teilmenge der Jahreskapazität erforderlich. Rechnungen mit dem Jahresverlauf der Windstromerzeugung und kontinuierlicher Abnahme zeigen, dass die Speichergröße bei rund 50 % der Jahresmenge liegen muss, um eine gleichmäßige Abgabe der durch Windspitzen erzeugten Wasserstoffströme zu gewährleisten. Somit wird ein Speicher mit der Kapazität für mehrere zehn Millionen Nm³ gesucht.

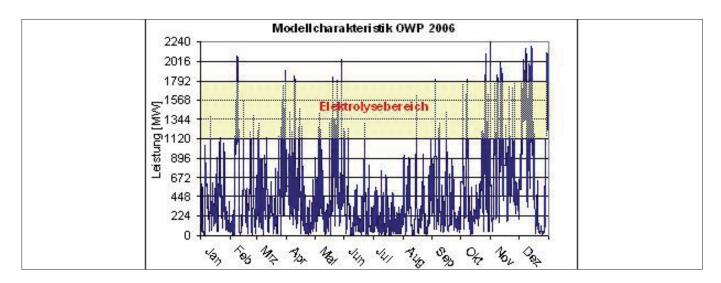


Abb. 1: Modellcharakteristik OWP 2006

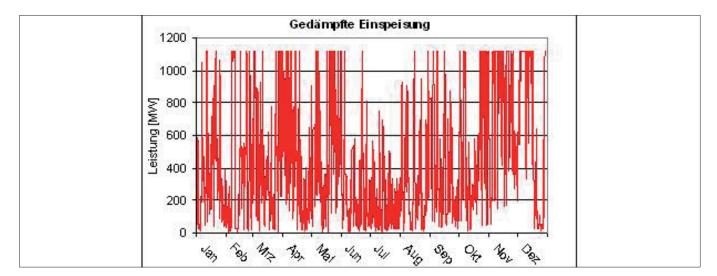


Abb. 2: Gedämpfte Einspeisung

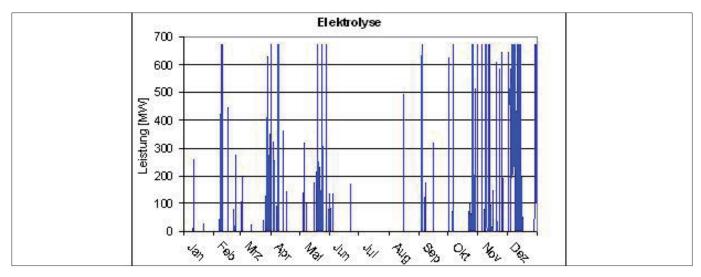


Abb. 3: Elektrolyseverlauf

Große Gasspeicher

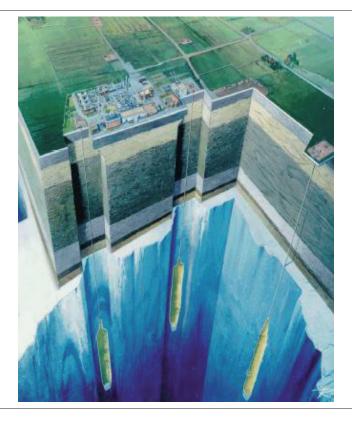
Solche Speicher sind aus der Erdgaswirtschaft bekannt. Es handelt sich um Untertagespeicher in verschiedenen Ausprägungen. Es werden geologische Formationen wie Aquifere oder ausgeförderte Lagerstätten genutzt oder künstliche Hohlräume in Salzformationen erschaffen. Diese letztgenannten Salzkavernen werden durch gezieltes Auslösen von Salz mit Hilfe von Wasser erzeugt. Dafür sind nach Abarbeitung aller planerischen, geologischen, und genehmigungstechnischen Vorarbeiten folgende Schritte notwendig:

- 1. Abteufen einer Bohrung in den Salzstock,
- 2. Installation der Verrohrungen,
- 3. Einleiten von Frischwasser in den Salzstock, soltechnisches Erstellen des Kavernenhohlraums und Ableiten der entstehenden Sole
- 4. Installation der Bohrlochkomplettierung für den Gasbetrieb
- 5. Erstbefüllung des Speichers.

Mit der Festlegung der Kavernenteufe werden die Speicherdrücke (p_{min} , p_{max}) und damit die Druckdifferenz des Speicherspiels festgelegt. Der Maximaldruck p_{max} wird durch die Mächtigkeit der über dem Speicher liegenden Gesteinsschicht (= Teufe) bestimmt, der Minimaldruck p_{min} durch den zur mechanischen Stabilität der Kaverne notwendigen Wert.

Durch geschickte Strömungsführung des Frischwasserzulaufs werden die Kontur und damit auch das unter den gegebenen geologischen Bedingungen erzielbare Volumen bestimmt. Zylindrische Salzkavernen, Abbildung 4, haben Durchmesser bis über 50 m und Höhen bis zu 350 m und weisen damit ein Volumen bis zu 700.000 m³ und darüber auf. Bei einer Rohrschuhtiefe von 900 m bewegt sich der Arbeitsdruck dann zwischen etwa 50 und 160 bar, was einem Speicherspiel von 110 bar entspricht. Demnach sind rund 70 Millionen Nm³ Wasserstoff als Arbeitsgas in einer solchen Kaverne speicherbar.

Die Kosten der Herstellung einer Salzkaverne bewegen sich in einem vertretbaren Rahmen (wie auch die Integration von Salzkavernenspeichern in das Erdgasnetz beweist) und werden vorrangig durch die technischen Installationen und die Energiekosten der Wasser-/Soleförderung dominiert. An küstennahen Standorten wird die Sole problemlos im Meer verbracht. An inländischen Standorten wird sie entweder als Rohstoff für die Industrie genutzt oder in geeigneten geologischen Strukturen verpresst.



Die Ausmaße eines Salzstocks ermöglichen normalerweise die Anlage einer größeren Anzahl von Salzkavernen. Damit kann die Kapazität den Erfordernissen in einer größeren Bandbreite angepasst werden. In Norddeutschland - und dort schwerpunktmäßig an den windreichen Küstengebieten - befinden sich zahlreiche Salzstöcke, die für die Anlage von Salzkavernen geeignet sind. Diese wurde bislang hauptsächlich für die Speicherung von Erdgas genutzt.



Abb. 5: Kavernenkopf

Die Eignung von Salzkavernen für die Speicherung von Wasserstoff ist für mehrere Fälle nachgewiesen. Neben der ehemaligen Speicherung von Stadtgas mit hohem Wasserstoffanteil in Frankreich und Deutschland werden von Sabic Petrochemicals in Teesside (UK) und ConocoPhilipps und Praxair in Texas (USA) Wasserstoffkavernen erfolgreich betrieben. In allen Fällen dienen sie zur Anpassung von Wasserstofferzeugung und –abnahme. Die Frage nach der Dichtheit von Wasserstoffspeichern im geologischen Untergrund lässt sich mit der Dicke der "Wandung" anschaulich verdeutlichen: durch 900 m dickes Salzgestein extrem geringer Permeabilität treten Leckagen auch unter ungünstigen Bedingungen höchstens in der Größenordnung von < 0,02 % pro Jahr auf. Besonderes Augenmerk bezüglich technischer Dichtheit ist dabei auf den Übergang von der Salzkaverne auf die Zugangsbohrung zu legen.

Die Speicherung von Wasserstoff in Salzkavernen erscheint als gangbarer Weg, zumal der Flächenverbrauch der Speicheranlage über Tage verschwindend gering ist. Für die Untertagespeicherung gibt es die oben genannten Vorbilder. Seitens der Elektrolyse liegen die bislang weltweit größten, realisierten Anlagen in der in Abbildung 3 implizierten Größenordnung. Die technischen Randbedingungen für eine Wind-Wasserstoff-Speicherkette sind damit realisierbar.

Systemvarianten

Für die Nutzung des in der Windstromeinspeisedämpfung erzeugten Wasserstoffs gibt es insgesamt vier Varianten (in Abb. 6 grau hinterlegte Kästen).

Variante (*) betrachtet die Verstromung in einem zentralen Kraftwerk. Dabei ist es technisch unerheblich, ob der Wasserstoff in einem konventionellen Gas- oder Kohlekraftwerk beigefeuert (Rückverstromung zur Grund- und Mittellastzeit) oder in einem eigenen Kraftwerk genutzt wird (Rückverstromung zur Spitzenlastzeit). Alternativ kann er auch gemeinsam mit dem erzeugten Sauerstoff zur schnellen Erhöhung der Dampfreserve konventioneller Kraftwerke und so indirekt zur Regelenergiebereitstellung genutzt werden. Die bei der Einspeisedämpfung erzeugte Wasserstoffmenge reicht aus, um 1.000 h lang 100 MW elektrischer Leistung bereitzustellen. Dieser Ansatz der zentralen Verstromung beinhaltet als Randbedingung einen minimierten Kapitalaufwand, da vorhandene Kraftwerke genutzt werden und der konventionelle Brennstoff substituiert wird.

Variante (**) beinhaltet ebenfalls eine Rückverstromung, allerdings dezentral in Blockheizkraftwerken (BHKW). Die Größe der BHKW ist dabei durch die Möglichkeiten der Distribution vorgegeben. Denkbar sind zwei Szenarien:

1. Wenige Anlagen in der Größenordnung 1 bis 10 MW (Industrie oder Siedlungen) und 2. Kleinteilige Nutzung im Ein-/ Mehrfamilienhaus in der Größenordnung 1 bis 100 kW. Für das erste Szenario wird der Wasserstoff über eine Pipeline oder per Container transportiert, im zweiten Szenario wird eine Nutzung vorhandener Infrastruktur notwendig (z. B. lokale Gasnetze in Siedlungsgebieten), die von einer Zwischenstation (Hub) gespeist wird. Der Hub wird, wie im ersten Szenario, per Pipeline oder Container versorgt. Diese BHKW-Variante betont eine optimierte Energienutzung.

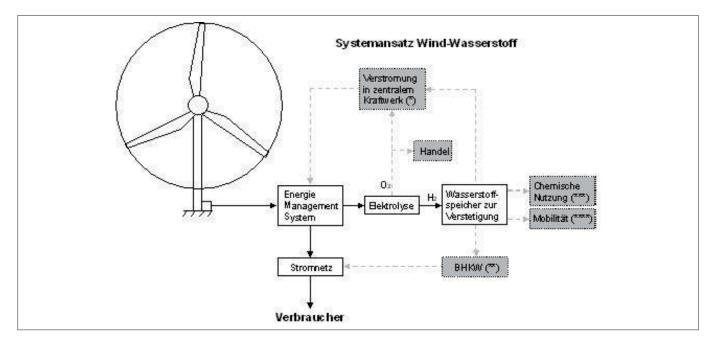


Abb. 6: Systemansatz

Variante (***) zeigt die Möglichkeit auf, den bei der Dämpfung erzeugten Wasserstoff in chemischen Prozessen zu nutzen. Hier ist besonders der Einsatz in BtL-Prozessen (Biomass-to-Liquid) zu erwähnen, bei dem die Ausbeute durch externe Wasserstoffzugabe deutlich erhöht werden kann.

Variante (****) trägt der Forderung Rechnung, nennenswerte Stückzahlen an Nahverkehrsbussen und Pkw mit "grünem" Wasserstoff zu versorgen. Rein rechnerisch lassen sich mit der erzeugten Wasserstoffmenge 1.146 Busse 300 Tage im Jahr 280 km/Tag betreiben. Überschlägig heißt das für den Personenverkehr, dass 10.000 Autos jährlich 20.000 km fahren könnten. Dabei ist zu beachten, dass der Wasserstoff rein aus der Kappung der Stromspitzen von OWP stammt und noch nicht dezidiert zur Treibstoffgenerierung hergestellt wurde (über 90 % der vom OWP erzeugten elektrischen Arbeit gehen dabei direkt ins Stromnetz).

Welche Variante(n) tatsächlich umgesetzt werden, wird durch wirtschaftliche Gesichtspunkte entschieden werden müssen. Auf jeden Fall kommt die Wind-Wasserstoffkette mit der Möglichkeit, große Volumina unter Tage zu speichern, ihrer Realisierung ein Stück näher.

Reet: Nichts als Schall und Rauch?

Forschungsprojekt: Regionalhaus aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen Brand- und schallschutztechnische Versuche zur Optimierung der Gesamtkonstruktion

Georg Conradi, Manfred Logemann, Steffen Slama

Zusammenfassung

Ziel des Forschungsprojektes "Regionalhaus aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen" ist die systematische Erfassung und Auswertung von Daten über Dämmeigenschaften, Schallschutz sowie Brandverhalten und Löschwassereinfluss eines neuartigen Reetdachkonstruktionsprinzips aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen unter Verzicht auf zusätzliche Wärmedämmungen. Diese neuartige Dachkonstruktion ist Teil eines Testhauses, das im Frühsommer 2005 nach den neu entwickelten Prinzipien des Regionalhauses Lübecker Bucht® erstellt worden ist. Die bisher gewonnenen Erkenntnisse des Baustoffverhaltens bei der Entwicklung des Gebäudetyps sollen durch den geplanten Realbrandversuch sowie gezielte Kleinbrandversuche und diverse Schall- und Dämmschutzuntersuchungen wesentlich erweitert werden.



Einleitung

Reetgedeckte Bauten prägen seit Beginn der Besiedelung in Schleswig-Holstein (ab etwa 4000 v. Chr.) das Landschaftsbild und bilden hier einen wichtigen Teil der touristischen Attraktionen. Was einst ein "Arme-Leute-Haus" war, entwickelte sich zu einem Haus für Begüterte und Individualisten. In den letzten 20 Jahren ist im Zuge der Rückbesinnung auf natürliche Baustoffe ein verstärkter Bau von Häusern mit Reeteindeckung zu beobachten, so dass heute wieder vieler Orts solche Gebäude zu sehen sind.

Das Institut für Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen der Fachhochschule Lübeck beschäftigte sich bereits seit dem Jahr 2000 mit der Entwicklung und Erprobung von Bauprodukten und Baukonstruktionen aus und mit Reet (BMBF-AIF-Projekt "Alternative Verwendung von Reet" 2000/2002).

n einem Projekt in den Jahren 2003/2004 wurde auf dem Gelände der FH Lübeck das "Regionalhaus Lübecker Bucht[®]" als Prototyp für eine regional-typische Architektur entwickelt. Dabei handelt es sich um eine neuartige Reetdachkonstruktion unter Verzicht auf zusätzliche Wärmedämmung, deren erste Tauglichkeit mit dem Bau eines Testhauses auf dem Gelände der Fachhochschule Lübeck nachgewiesen wurde. Darüber hinaus fand eine Prüfung der Feuerwiderstandsfähigkeit der Dachplatte bei der Materialprüfanstalt Braunschweig statt.



Abb. 1: Errichtung Testhaus

Aufgabenstellung

Das Hauptanliegen des Forschungsprojektes "Regionalhaus aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen" war die Überprüfung und Optimierung der in früheren Projekten entwickelten Baukonstruktion aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen. Es werden daher insbesondere die brand- und schallschutztechnischen Belange der Reetdachkonstruktion Regionalhaus Lübecker Bucht® untersucht.

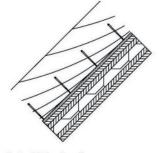
Zu Beginn des Forschungsprojektes wurde der Realbrandversuch am Testhaus auf dem Gelände der Fachhochschule Lübeck zur Überprüfung des Brandverhaltens und des Löschwassereinflusses der neuartigen Reetdachkonstruktion durchgeführt.

Nach Auswertung der Ergebnisse aus dem Realbrandversuch wurden weitere Brandversuche durchgeführt; diese dienten der systematischen Ermittlung von brandschutztechnisch relevanten Kennwerten für Reetdächer und sollten die Erkenntnisse aus dem Realbrandversuch vertiefen und verifizieren.



Versuchsfeld 1



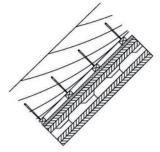


Schnitt Dachaufbau (von außen nach innen)

Reeteindeckung (d = 35 cm) Weichfaserplatte (d = 2 cm) Massivholzplatte (d = 21 cm)

Versuchsfeld 2





Schnitt Dachaufbau (von außen nach innen)

Reeteindeckung (d = 33 cm) Lattung (d = 4 cm) Weichfaserplatte (d = 2 cm) Massivholzplatte (d = 21 cm)

Versuchsfeld 3





Schnitt Dachaufbau (von außen nach innen)

Reeteindeckung (d = 32 cm) Lattung (d = 4 cm) Konterlattung (d = 4 cm) Weichfaserplatte (d = 2 cm) Massivholzplatte (d = 21 cm)

Abb. 2: Anordnung und Aufbau der Versuchsfelder

Realbrandversuch

Als Auftakt des Forschungsprojektes "Regionalhaus aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen" fand auf dem Gelände der Fachhochschule Lübeck am 04.05.2006 ein Realbrandversuch am Testhaus zur Überprüfung der drei unterschiedlich, hinterlüfteten Reetdachkonstruktionen statt.

Bei diesem Brandversuch wurde mithilfe von Messeinrichtungen die Brandausbreitung unter Berücksichtigung der Faktoren Temperatur, Wärmestrahlung und Materialverhalten der reetgedeckten Dachkonstruktionen untersucht. Um das Abbrandverhalten in der Konstruktion zu beurteilen, wurden die drei Versuchsfelder mit Temperatursensoren versehen.



Abb. 3: Entzündung

Das primäre Ziel des Versuches war es nachzuweisen, dass die neuentwickelte Reetdachkonstruktion einer Brandbeanspruchung von außen über einen Zeitraum von 30 Minuten standhält. Ein weiteres Ziel war die Überprüfung der Festigkeit der Reeteindeckung im Brandfall. So konnte beim Brandversuch nachgewiesen werden, dass bei einer geschraubten, nichtbrennbaren Befestigung das Reet während der gesamten Branddauer bei vorhandener Unterkonstruktion, zum Teil bei Temperaturen oberhalb des Schmelzpunktes von Stahl, nicht herunterrutschte.

Nach der zeitgleichen Entzündung der drei unterschiedlich hinterlüfteten Versuchsfelder an der Traufe zeigte sich sehr schnell ein deutlicher Unterschied im Brandverhalten. So breitete sich das Feuer auf dem belüfteten Versuchsfeld innerhalb von 1,5 Minuten bis zum First aus. Die beiden anderen Versuchsfelder (nicht hinterlüftet und teilhinterlüftet) benötigen ca. 3 Minuten bis die gesamte Dachfläche brannte. Auch bei der nachträglichen Auswertung der Temperaturen in den einzelnen Reetschichten ergaben sich beträchtliche Unterschiede zwischen den Versuchsfeldern.

Zunächst ging das Feuer nach einem oberflächlichen Flammenbrand in einen Glutbrand über. Zu dieser Zeit waren nur wenige Flammenerscheinungen auf der Dachfläche zu beobachten. Ab der zehnten Versuchminute kam es zu einem intensiveren Abbrand an den Rändern und den Dachüberständen von Versuchsfeld zwei und drei. Nach 20 Minuten war das gesamte Reet der traufseitigen Dachüberstände von Versuchsfeld 2 und 3 entweder verbrannt oder heruntergefallen, so dass nur noch die Unterkonstruktion mit teilweise vorhandenen Latten übrig waren.



Abb. 4: Brandausbreitung in den ersten Minuten



Abb. 5: Brandentwicklung am traufseitigen Dachüberstand



Abb. 6: Löscharbeiten und Messtechnik im Außenbereich

Aufgrund der brennbaren Fassade und zur Vermeidung unverhältnismäßiger Schäden wurde in der 30. Versuchsminute mit den Löscharbeiten durch die Berufsfeuerwehr Lübeck begonnen. Nach dem oberflächlichen Ablöschen der Flammen wurde das Reet vollständig vom Dach entfernt und auf mögliche Glutnester untersucht. Bei der Überprüfung der darunter liegenden Holzkonstruktion zeigten sich auch hier deutliche Unterschiede aufgrund der Größe der Flächen mit zerstörtem Material.

Ziel der weiteren Maßnahmen ist die Grundlagengewinnung zum Brandverhalten von Reetdachkonstruktionen. Es stehen zurzeit keine ausreichenden technischen Daten zur Verfügung, die Aufschlüsse über Maßnahmen zur brandschutztechnischen Ertüchtigung von Reetdächern geben. So werden im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes die erforderlichen brandschutztechnischen Kennwerte unter Bezugnahme der bauordnungsrechtlichen und normativen Anforderungen an feuerwiderstandfähige Reetkonstruktionen erarbeitet.

Zusammenfassend kann schon jetzt festgestellt werden, dass die neuentwickelte Reetdachkonstruktion Regionalhaus Schleswig-Holstein die in sie gesteckten Erwartungen voll erfüllt. Die bisherigen Ergebnisse bilden die Grundlage für weitere Verbesserungen der Dachkonstruktion. So erfolgte im Rahmen der Wiederherstellung des Testhauses die brandschutztechnische Verbesserung des Ortgangbereiches, um bei einem Brand des Reets die Fassade besser vor der Einwirkung eines Feuers zu schützen.



Abb. 7: Wiederhergestelltes Testhaus

Laborversuche

Mit Hilfe der Laborversuche sollten mittels verschiedener thermoanalytischer Verfahren einige physikalische und chemische Eigenschaften von Reet bestimmt werden. Dieses ist besonders wichtig, da bisher keine oder nur sehr alte Kennwerte in der Literatur zu finden sind.

Hierbei kamen zwei Verfahren zur Anwendung. Mit dem ersten Verfahren können die Temperaturen von Substanzen bestimmt werden, bei denen stoffliche Veränderungen stattfinden. Ziel dieser Versuchsreihen war die erstmalige Bestimmung der Glimm- und Zündtemperatur für Reet. Beim zweiten Verfahren wurde in einem Verbrennungskalorimeter der Heizwert von Reet mit unterschiedlichen Materialfeuchten ermittelt. Nach Auswertung der durchgeführten Versuche zur Ermittlung der Glimm- und Zündtemperatur für Reet wurden folgende signifikante Temperaturen ermittelt:

Glimmtemperatur ca. $T_G = 250 \,^{\circ}\text{C}$

Zündtemperatur ca. $T_7 = 450$ °C

Betrachtet man vergleichsweise die Kennwerte für Holz (Glimmtemperatur $T_g = 280\,^{\circ}\text{C}$ / Zündtemperatur $T_z = 460\,^{\circ}\text{C}$), so zeigt sich ein ähnliches Verhalten. Um jedoch gesicherte Aussagen zu Reet als natürlichen Baustoff zur Dacheindeckung machen zu können, sollten weitere Versuche zur Bestätigung der Ergebnisse sowie zur Ermittlung statisch gesicherter Kennwerte erfolgen. Für die Bestimmung des Heizwertes mussten zunächst die Materialfeuchten der einzelnen Proben ermittelt werden. Nach Zuordnung zu den jeweiligen Heizwerten konnte folgende erste Abhängigkeit bestimmt werden (siehe Abbildung).

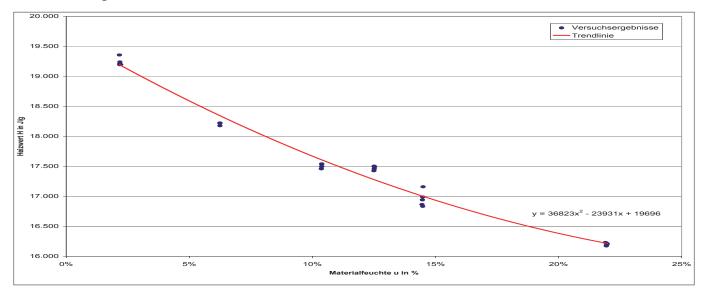


Abb. 8: Übersicht Versuchsergebnisse

Versuche – Mindestzündenergie

Bauordnungsrechtlich werden für Bedachungen der Nachweis der Widerstandfähigkeit gegen Flugfeuer und strahlende Wärme gefordert. Da das genormte Prüfverfahren jedoch nicht die beschriebenen Kennwerte überprüft, sondern lediglich auf der Dachoberfläche einen definierten Brandsatz abbrennen lässt, ist dieses zur tatsächlichen Bestimmung der brandschutztechnischen Kennwerte ungeeignet.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden daher erstmalig Versuche zur Ermittlung der erforderlichen Strahlungsenergie für die Entzündung einer Reeteindeckung durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurde mithilfe eines Wärmestrahlers und bei praxisnaher Anordnung die erforderliche Energie bestimmt, welche Reet als Dacheindeckung zur Entzündung und zum selbstständigen Weiterbrennen benötigt. Der sicherheitstechnische Kennwert der Bestrahlungsstärke berücksichtigt, dass sich ein brennbarer Stoff nicht nur durch eine offene Flamme, sondern auch durch andere Energien z.B. in Form von Wärmestrahlung entzünden lässt. Die Bestrahlungsstärke stellt daher den einzigen Kennwert dar, der die Gefahr einer Brandausbreitung infolge Wärmestrahlung auf benachbarte Objekte beschreibt.

Bei den durchgeführten Versuchen wurde bei gleichem Versuchsaufbau die Strahlungsleistung, durch einen unterschiedlichen Abstand zwischen Strahler und Probe, variiert. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Materialfeuchte ergeben sich so, je nach auftreffender Energiemenge, die verschiedenen Entzündungszeiten.



Abb. 9: Versuchsaufbau



Abb. 10: Entzündung Reetprobe

Zusammenfassend ergeben sich für die drei Entfernungen, bei denen eine Entzündung innerhalb von 30 Minuten stattgefunden hat, folgende Mittelwerte:

Bestrahlungsstärke in W/cm²	Zeit bis Entzündung in min		
1,14	15:24		
1,54	10:18		
2,21	6:18		

Die ermittelten Werte ermöglichen erstmalig eine Beurteilung des Risikos einer Brandweiterleitung mittels Wärmestrahlung für Reetdächer. In Zukunft lassen sich so, je nach örtlicher Bebauung, die tatsächlich erforderlichen Abstände für Gebäude mit Reetdach festlegen.

Versuche – Abbrandrate

Zur Ermittlung der Gefahren, die von einem brennenden Reetdach ausgehen, ist es unabdingbar zu wissen, wie schnell und mit welcher freiwerdenden Wärme zu rechnen ist. Daher wurden im Rahmen des Forschungsprojektes erstmalig Versuche zur Ermittlung der Wärmefreisetzung und der Abbrandrate durchgeführt.



Abb. 11: Versuchsaufbau

Die Wärmefreisetzung beschreibt die bei einer Verbrennung eines brennbaren Stoffes freiwerdende Wärmemenge. Berechnet wird diese anhand des Heizwertes und der Masse des zur Verfügung stehenden brennbaren Materials. Für die praktische Anwendung und die Bestimmung der Gefährdung für benachbarte Objekte bei einem brennenden Reetdach sind jedoch diverse Verluste zu berücksichtigen. Bei den durchgeführten Versuchen wurde daher die Strahlungswärme gemessen, die bei Abbrand der Probedächer freigesetzt wurde.

Bei den Probedächern handelt es sich um eine Dachfläche von ca. 1 m². Die Entzündung erfolgt mittels Gasbrenners und die Probenmasse sowie die entstehende Strahlungswärme werden während der gesamten Versuchsdauer messtechnisch erfasst. Des Weiteren wird die Brandausbreitung optisch sowie mithilfe zahlreicher Temperatursensoren, die in der Probe verteilt angeordnet sind, überwacht.



Abb. 12: Brandverlauf während des Versuchs



Abb. 13: Brandverlauf zu Versuchsende

Die Entzündung des Probendaches erfolgte mittels Brenner, der 30 Sekunden mittig an die untere Dachkante gehalten wurde. Nach dem Entzünden kam es zu einer schnellen und intensiven Brandausbreitung. Die Versuche dauerten zumeist nicht länger als eine Stunde. Der Versuch endete nach Versagen der Unterkonstruktion und dem Abbrennen der am Boden liegenden Reetreste.

Mithilfe der durchgeführten Versuche wurden erstmalig die Wärmestrahlung und die Abbrandrate anhand des Abbrandes eines Reetdachmodells analysiert. Die so ermittelten Werte dienen unter anderem als Grundlage zur Berechnung der emittierten Flammenstrahlung. Damit kann das tatsächliche Risiko für benachbarte Objekte bei einem brennenden Reetdach bemessen werden. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass Reet während eines Brandes bei einer nichtbrennbaren Befestigung nicht herunterrutscht.

Realbrandversuch - Normaldach

In Erweiterung und zur Verifizierung der Ergebnisse aus dem Realbrandversuch und den Brandversuchen zur Ermittlung der Abbrandrate sollte ein weiterer Großversuch zur Ermittlung wichtiger brandschutztechnischer Kennwerte und Erkenntnisse durchgeführt werden. Ziel dieses Versuches war ebenfalls die Ermittlung der Strahlungswärme und der Abbrandrate



Abb. 14: Versuchsdach

als die wichtigsten Kennwerte zur Risikobewertung von Reetdachbränden. Um hier definierte Rahmenbedingungen während des Versuches zu gewährleisten, wurde dieser in einer geschlossenen Halle durchgeführt. So konnten neben der Unabhängigkeit gegenüber meteorologischen Einflüssen auch die Zu- und Abluftvolumenströme reguliert und überwacht werden.

Bei diesem Versuch handelt es sich um einen Brandversuch im Realmaßstab. Dazu wurde ein reetgedecktes Versuchshaus mit einer Grundfläche von 5 m x 4,5 m errichtet. Die Eindeckung erfolgte in geschraubter Ausführung auf Latten. Eine Dämmung der Dachflächen fand nicht statt, so dass im Innenraum die Latten und das Reet offen zu sehen waren. Zur Herstellung einer geschlossenen Gebäudehülle wurden im Außenbereich die Wände einfach mit Gipskartonplatten verkleidet. Das Versuchshaus wurde in einer geschlossenen Halle errichtet, so dass äußere Einflussfaktoren wie zum Beispiel Wind, Niederschlag und Sonneneinstrahlung ausgeschlossen werden können. Darüber hinaus konnte aufgrund der definierten Volumenströme von Zu- und Abluft der erforderliche Sauerstoffbedarf für den Brand ermittelt werden.

In Erweiterung der Ergebnisse des Realbrandversuches sollten bei diesem Brandversuch die Brandausbreitungsgeschwindigkeit und die entstehenden Temperaturen bei einem ungeschützten Reetdach mit einer praxisnahen Größe untersucht werden. Des Weiteren sollten die entstehende Wärmestrahlung sowie der Funkenflug überwacht werden. Nach dem Brandversuch sollen der entstandenen Schaden sowie die Maßnahmen zur Wiederherstellung des Hauses beurteilt werden. Während des gesamten Versuches erfolgte neben der optischen und thermografischen Aufzeichnung die Messung der Abbrandrate, der entstehenden Temperaturen sowie der freiwerdende Strahlungswärme. Der Aufbau erfolgte messtechnisch ähnlich wie bei den Versuchen zur Ermittlung der Abbrandrate. So wurden zur Überwachung der Masse des Prüfobjekts vier Wägeeinrichtungen verwendet, die Erfassung der Temperaturen am und im Dach durch über 100 installierte Thermoelementen sowie die Messung der abgegebenen Wärmestrahlung mittels spezieller Sonden (Radiometer) durchgeführt.



Abb.15: Enzündung Versuchsdach

Nach der Entzündung breiteten sich die Flammen aufgrund der "Windstille" in mäßigem Tempo zu beiden Seiten der Traufe und im Anschluss wesentlich rascher über den Ortgang zum First aus. Die Flammen erreichten nach 17 Minuten den Ortgang und eine Minute später den First. Nach Erreichen des Firstes breitete sich das Feuer zunächst weiter von den Rändern auf die Dachfläche aus. Nach 40 Minuten war die gesamte vordere Dachfläche vom Feuer erfasst. In der 50. Versuchsminute kam es zu einer rasanten Ausbreitung des Feuers innerhalb weniger Sekunden über die gesamte hintere Dachfläche. Darüber hinaus breitete sich der Brand auf der Innenseite sowie auf die hölzerne Dachkonstruktion aus. Nach einer Stunde und vier Minuten war die Unterkonstruktion so weit zerstört, dass Teile des Daches in den Innenraum stürzten. Kurze Zeit später wurde der Versuch durch Löschen des Brandes abgebrochen.



Abb. 16: Brandverlauf zu Versuchsende

Entsprechend der Erwartungen kam es bei dem Brandversuch zu einem Totalversagen der ungeschützten Reetdachkonstruktion. So zeigte sich neben den Videoaufzeichnungen auch in den Messwerten, dass es nach einer Aufbereitungsphase, in der sich das Feuer mit mäßiger Geschwindigkeit über das gesamte Dach ausbreitete, zu einem sehr schnellen Durchzünden mit einem anschließendem Vollbrand kam. Während dieser Phase brannte das Dach innen wie außen in seiner gesamten Ausdehnung. Kurze Zeit später kam es dann zu einem Verlust der Trägfähigkeit der Konstruktion und das Dach stürzte ins Gebäudeinnere ein. Die dabei entstehenden **Temperaturen lagen über 1.400 °C** und waren mit der vorhandenen Messtechnik nicht mehr zu bestimmen.

Der Wert für die maximal emittierte Flammenstrahlung liegt für den Frontalbereich zwischen 2,90 W/cm² und 3,87 W/cm² und für den seitlichen Bereich zwischen 1,86 W/cm² und 2,48 W/cm². Betrachtet man die Dauer, in der eine intensive Wärmestrahlung stattgefunden hat (10 bis 15 Minuten), so wäre bei einem Objekt dieser Größe damit zu rechnen, dass noch in einem Abstand von acht bis neun Metern auf parallel und von bis zu sieben Metern auf seitlich angeordnete Reetdächer eine Brandweiterleitung infolge Flammenstrahlung erfolgt wäre.

Bei Analyse der Ergebnisse aus den Versuchen zur Ermittlung der Abbrandrate und dieses Versuches wird deutlich, dass die Massenverlustrate als primäre Ausgangsgröße für die freigesetzte Wärmestrahlung aller Wahrscheinlichkeit nach von der Größe des Brandobjektes abhängig ist. Die Prüfung von lediglich zwei Dachgrößen lässt aufgrund von fehlenden Vergleichsmöglichkeiten jedoch nur eine eingeschränkt verwertbare Abhängigkeit zu.

Zur Erweiterung und Verifizierung der Ergebnisse sollten daher weitere Versuche mit unterschiedlichen Dachgrößen durchgeführt werden. Bei einer ausreichend großen Datenbasis wäre dann erstmalig eine gesicherte Berechnung der Wärmestrahlung möglich, so dass unter Berücksichtigung dieses Risikos eine Abstandsbemessung für benachbarte Objekte um ein Haus mit Reetdach stattfinden könnte.

Dämmeigenschaften: Neuartiges Reetdach auf Testhaus

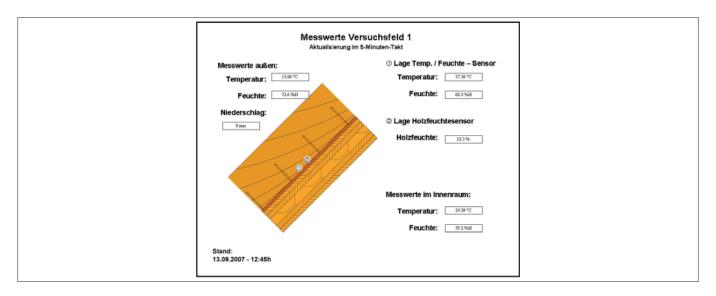
Neben den primären Zielen des Forschungsprojekts in Form von brand- und schallschutztechnischen Versuchen zur Optimierung der Gesamtkonstruktion sollten zusätzlich die Daten über die Dämmeigenschaften der neuartigen Dachkonstruktion des Regionalhauses Schleswig-Holstein systematisch erfasst und ausgewertet werden.

In Erweiterung zu den ersten Untersuchungen aus einem früheren Forschungsprojekt wurden nun weitere Feuchtemessungen in der Reeteindeckung der neuartigen Dachkonstruktion zur weiteren Überprüfung der Dämmeigenschaften sowie zum Nachweis der Dauerhaftigkeit durchgeführt.

Nach dem Realbrandversuch war eine Neueindeckung der Dachfläche erforderlich. Zur Überprüfung sowie zum Vergleich der Reetdachkonstruktion Regionalhaus Schleswig-Holstein mit einem herkömmlichen Reetdachaufbau wurden zwei Versuchfelder auf dem Testhaus errichtet. Während der Neueindeckung und im Anschluss wurden die beiden Versuchsfelder mit geeigneten Sensoren und Messeinrichtungen versehen. Ziel der Messungen war eine differenzierte Analyse des Temperatur- und Feuchteverhaltens der zwei Konstruktionen. Infolge von jahreszeitbedingten Schwankungen wurde eine dauerhafte Messung während des gesamten Forschungsprojektes und darüber hinaus durchgeführt.



Abb. 17: Versuchsfelder Testhaus



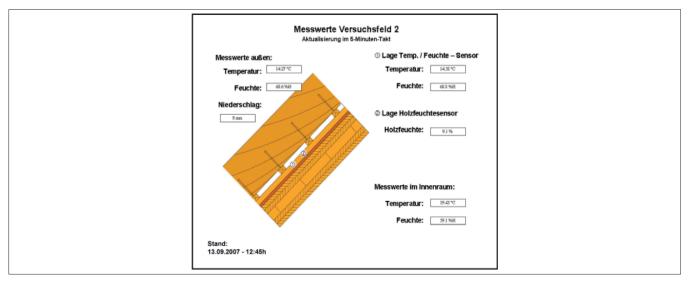


Abb. 18 und 18a: Auszug Homepage - Darstellung der Messwerte in Echtzeit

Aufgrund des hohen öffentlichen Interesses derartiger Untersuchungen und deren Ergebnisse wurde die Homepage www. regionalhaus-sh.de eingerichtet, welche die aktuellen Forschungsergebnisse präsentiert. Um Veränderungen im Verhalten der beiden Reetdachkonstruktionen direkt zeigen zu können, wurden die aktuellen Messwerte anschaulich auf der Homepage dargestellt werden. Um die Dämmeigenschaften bzw. das Feuchteverhalten unter verschiedenen Bedingungen zu überprüfen, wurden verschiedene Innenraumszenarien simuliert. So wurden zunächst die Feuchtebedingungen im Gebäudeinneren konstant gehalten, um zu überprüfen, wie sich die Dachkonstruktion bei witterungsbedingten Schwankungen verhält. Zu einem späteren Zeitpunkt wurden die Temperatur und die Luftfeuchte im Inneren verändert, um zu untersuchen, welches Dämm- bzw. Pufferverhalten die Konstruktion aufweist. Dies geschah mithilfe eines Luftbefeuchters und einer elektrischen Heizung, die während der Heizperiode im Winter 2007/2008 für eine feucht-warme Raumluft sorgten, um so Unregelmäßigkeiten oder Schwächen in der Konstruktion aufzudecken. Ausschlaggebend für die Untersuchungen der Dämmeigenschaften der neuartigen Dachkonstruktion des Regionalhauses Schleswig-Holstein war das Feuchteverhalten der Reeteindeckung. Ein positives Ergebnis würde nicht nur dazu führen, dass zumindest ein Teil des Reets als Wärmedämmung mit angesetzt werden kann, sondern auch einen **Nachweis der Dauerhaftigkeit dieser Reetdachkonstruktion** erbringen.

Die Erweiterung der Anlage im Testhaus wurde erst Ende 2007 abgeschlossen, so dass für eine abschließende Auswertung noch nicht genügend Messergebnisse vorliegen. Hier können zurzeit nur erste Tendenzen aufgezeigt werden. Vergleicht man die Luftfeuchtewerte in der Mitte der beiden Versuchsfelder, so zeigt sich im Versuchsfeld 1 während der nass-kalten Wintermonate ein leicht erhöhter Wert gegenüber Versuchsfeld 2. Im Frühjahr und Sommer liegen dann beide Werte auf etwa dem gleichen Niveau. Da es sich nur um eine Momentaufnahme handelt, sollten weitere Auswertungen der Messungen stattfinden. Darüber hinaus sollte ein weiterer Ausbau der Messtechnik erfolgen, um genauere Aussagen über das Feuchte- und Temperaturverhalten von unterschiedlich eingedeckten Reetkonstruktionen zu erhalten.

Derzeit können noch keine hinlänglich gesicherten Aussagen zum Nachweis der Dauerhaftigkeit der Reetdachkonstruktion Regionalhaus Schleswig-Holstein getroffen werden. Da üblicherweise Reetdächer eine Haltbarkeit von 30 bis 40 Jahren aufweisen, ist eine Überprüfung der Dämmeigenschaften sowie des Feuchteverhaltens über einen Zeitraum von zwei Jahren nicht annähernd ausreichend. Es wird daher empfohlen, zum Erhalt und Ausbau der norddeutschen Reetkultur weitere Forschungen zur bauphysikalischen Grundlagenermittlung von Reetdachkonstruktionen durchzuführen.

Ausblick

Ein erster Erfolg des Projektes ist die Änderung der neuen Landesbauordnung für Schleswig-Holstein hinsichtlich der Gestaltung von Reetdächern. Mit Einführung der neuen Landesbauordnung kann auf die Ertüchtigung des Reetdaches über Ausgängen verzichtet werden (Wegfall Reetfanggitter).



Abb. 19: Reetfanggitter

Für die Zukunft gibt es neben der Beherrschung des Brandrisikos ein enorm wichtiges Forschungsfeld über die frühzeitige Alterung von Reetdächern durch Pilze und Algen. Nach dem in den Jahren 2007 und 2008 zwei Forschungsvorhaben (der Gesellschaft zur Qualitätssicherung Reet mbH und dem Institut für Marine Biotechnologie e.V. Greifswald) zu vorwiegend mikrobiellen Ursachen durchgeführt wurden, sind in Erweiterung zu diesem Themenkomplex von unserem Forschungsinstitut mehrere Anträge zur genaueren Untersuchung von künftigen Vermeidungsstrategien eingereicht worden. Dabei sollen die genauen bauphysikalischen und baukonstruktiven Ursachen in Form von diversen Versuchsbauten im Freilandversuch getestet werden.

Bodenfilterkaskaden - neue Wege in der Regenwasserbewirtschaftung?

Benjamin Heemeier, Matthias Grottker

Einleitung

Das Labor für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Fachhochschule Lübeck führte das Forschungs- und Entwicklungsvorhabens "Bodenfilterkaskade zur Behandlung von Regenwasserabflüssen" durch. Ziel des Projektes stellte die Reduzierung der durch die Einleitung von Oberflächenwasser verursachten Einflüsse auf (Fließ-)Gewässer in Schleswig-Holstein dar.

Insbesondere die hydrologischen und hydraulischen Auswirkungen einer solchen Einleitung sowie die diffusen hygienischen und stofflichen Einträge führen häufig zu Problemen in Gewässern. Im Hinblick auf die Begrenzung dieser Einflüsse wurde die Wirkungsweise der Bodenfilterkaskade untersucht und sollte zu einer Neuentwicklung, Modifikation und Optimierung von zentralen Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung führen.

Ziele der Bodenfilterkaskade

Die zunehmende Versiegelung natürlicher Flächen führt u.a. zu einem Anstieg des Oberflächenabflusses. Da eine Reduzierung der vorhandenen Versiegelung oft nicht möglich ist und die Voraussetzungen für eine ortsnahe Versickerung des Oberflächenwassers teilweise nicht ausreichen, muss versucht werden, die Einflüsse einer Einleitung auf das Gewässer zu reduzieren. Die Untersuchungen eines für Schleswig-Holstein umsetzbaren Konzepts zur Regenwasserbewirtschaftung sollen daher die hydrologischen bzw. hydraulischen Anforderungen mit den stofflichen Betrachtungen vereinen.

Ausschlaggebend für das Ausmaß der hydrologischen Beeinflussung eines Gewässers ist die Intensität der Modifikation der Abflussganglinie an der Einleitungsstelle. Der erhöhte Versiegelungsgrad in urbanen Einzugsgebieten führt zu einer Beschleunigung des Abflusses. Undurchlässige Flächen führen zu kurzen Konzentrationszeiten, so dass das Oberflächenwasser schnell abgeleitet und dementsprechend schnell dem Gewässer zugeführt wird. Dem Niederschlagsereignis folgt somit häufig ein rascher und heftiger Oberflächenabfluss. Ohne geeignete Gegenmaßnahmen weist die Abflussganglinie eines urbanen Einzugsgebietes eine kurze Gesamtabflussdauer mit einem z. T. extrem hohen Spitzenabfluss auf, der morphologische Schäden verursachen kann.

Die Abflussganglinie eines natürlichen Einzugsgebietes weist dagegen einen flachen, lang gestreckten Verlauf auf. Der Abfluss erfolgt hierbei über einen sehr viel längeren Zeitraum gegenüber einem urbanen Einzugsgebiet. Gleichzeitig zeichnet er sich durch einen vielfach geringeren Spitzenabfluss aus (Abb. 1). Mit Hilfe der Bodenfilterkaskade soll versucht werden, die Abflussganglinie des urbanen Einzugsgebietes an die Ganglinie des natürlichen Einzugsgebietes anzugleichen.

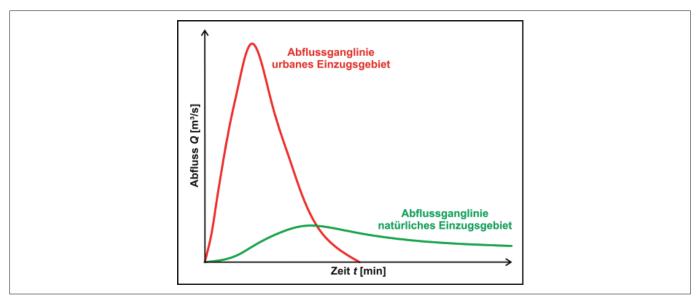


Abb. 1: Vergleich der Abflussganglinien eines urbanen und eines natürlichen Einzugsgebietes

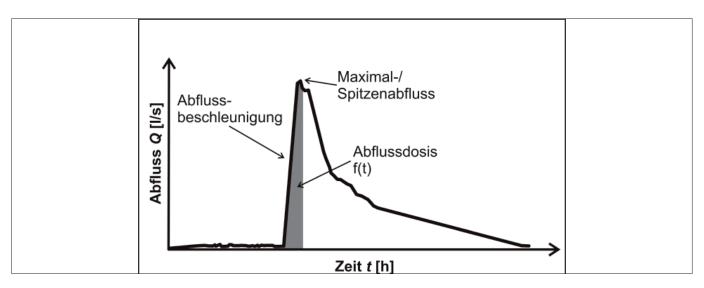


Abb. 2: Abflussparameter zur Beschreibung und Bewertung von Abflussganglinien

Abflussganglinien können anhand verschiedener Abflussparameter charakterisiert werden: Abflussbeschleunigung (Anstiegsgradient in einem Zeitintervall), Maximal- bzw. Spitzenabfluss (Momentanwert) und Abflussdosis (Abflussvolumen in einem Zeitintervall) (Abb. 2).

In Bezug auf die Minimierung des akuten hydraulischen Stress und der langfristigen morphologischen Schäden muss bei der Einleitung in ein Gewässer die Abflussbeschleunigung des urbanen Einzugsgebietes begrenzt werden. Wird dieses Ziel erreicht, so können die o.g. Einflüsse auf das Gewässer minimiert werden.

Die Begrenzung des Einflusses von akuten hygienischen wie auch stofflichen Einträgen (Akkumulation von Feststoffen, Schwermetallen und Xenobiotika¹) in das Gewässer soll durch den Einbau eines Bodenfilters erreicht werden. Hierdurch erfolgt eine mechanische wie auch biologische Reinigung des Oberflächenwassers vor der Einleitung in das Gewässer. Dabei müssen die Zusammenhänge zwischen hydraulischer Belastung, Korngröße, Durchlässigkeit und Beschaffenheit des Filtermaterials und der angestrebten Reinigungsleistung genau berücksichtigt werden. Weitere zu beachtende Kenngrößen sind eine mögliche Bepflanzung sowie das Einstauverhalten (permanenter oder teilweiser Einstau) des Bodenfilters. Gleichzeitig müssen Maßnahmen zur Verhinderung der Kolmation des Filters erfolgen. Aus dem Zusammenwirken der einzelnen Parameter ergibt sich dann die tatsächliche Reinigungsleistung.

Elemente der Bodenfilterkaskade

Die Bodenfilterkaskade (BOFIKA) soll eine Begrenzung der hydraulischen/hydrologischen und der hygienischen/stofflichen Belastungen erreichen. Die Bodenfilterkaskade als ein zentrales Bauwerk der Regenwasserbewirtschaftung verfügt dabei über Merkmale eines Regenrückhaltebeckens (hauptsächlich hydrologische und hydraulische Wirkung) und Merkmale eines Retentionsbodenfilters (hauptsächlich hygienische und stoffliche Reinigungswirkung).

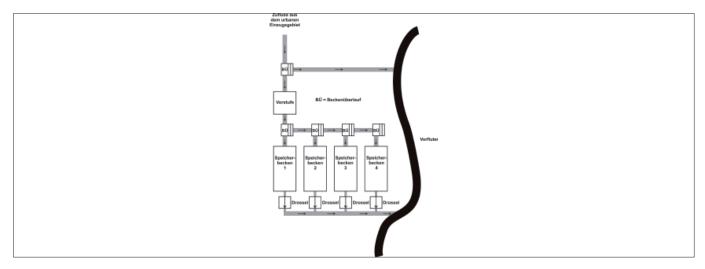


Abb. 3: Elemente der Bodenfilderkaskade (hier: 4-stufige Kaskade)

Als Grundlage dient hierbei eine aus mehreren Kleinspeichern bestehende Kaskade, die mit einem Bodenfilter ausgerüstet sind (Abb. 3). Die kaskadenförmige Anordnung der Speicherelemente soll hierbei die Verformung der Abflussganglinie und somit auch die Begrenzung der Abflussbeschleunigung bewirken. Das gesamte Rückhaltevolumen der Bodenfilterkaskade orientiert sich an dem erforderlichen Retentionsvolumen eines Regenrückhaltebeckens. Die Bemessung des erforderlichen Speicherraums erfolgt daher nach dem Arbeitsblatt DWA-A 117 "Bemessung von Regenrückhalteräumen" der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Die Begrenzung des maximalen Abflusses aus jedem Element der Bodenfilterkaskade erfolgt über handelsübliche Drossel- bzw. Regelorgane. Die Drosselung über den Boden scheint nicht erfolgreich umsetzbar zu sein, da die Durchlässigkeit des eingebrachten Bodens insbesondere in Abhängigkeit von der Bodenverdichtung sehr unterschiedlich ist. Auch die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes erbrachte in Laborversuchen eine derart große Streuung in Abhängigkeit von den Untersuchungsmethoden und Randbedingungen, so dass eine über einen langen Zeitraum stabile und gezielte Drosselung ausschließlich über technische Drosselorgane erfolgreich scheint. Umfangreiche Untersuchungen eines Drosselorgans bestätigen, dass auch sehr kleine Durchflüsse von ca. 1 l/s sicher mit Hilfe von technischen Drosselorganen erreicht werden können, sofern der Abfluss zuvor durch Filtration gereinigt wurde².

Die Anordnung des Bodenfilters in den Speicherbecken führt zu einer mechanischen und biologischen Reinigung des Oberflächenwassers, mit dem Ziel einer qualitativen Verbesserung der Wasserbeschaffenheit und einer Minimierung der hygienischen wie stofflichen Belastung des Gewässers. Die Wahl des Filteraufbaus orientiert sich am Merkblatt DWA-M 178 "Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem" der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Gegenüber einem Retentionsbodenfilter ist die hydraulische Belastung des Filters in der Bodenfilterkaskade sehr viel größer. Daher können die Empfehlungen des Merkblattes DWA-M 178 zur Wahl des Filtermaterials nur eingeschränkt angewendet werden. Es ist darauf zu achten, dass der Durchfluss des Filters größer ist, als der Abfluss aus dem Regelorgan. Dies bedeutet, dass die Drosselung des Abflusses ausschließlich über die technische Drosseleinrichtung erfolgt. Diese ist somit maßgebend für die Durchlässigkeit des Filtermaterials und somit in erster Linie auch für die entsprechende Korngrößenverteilung. Bei der Wahl des Filtermaterials muss die Kolmation des Filters berücksichtigt werden, die zu einer Verringerung der Durchlässigkeit führt. In diesem Zusammenhang muss auch der Austausch des Filtermaterials beachtet werden.

Insbesondere die Anlagerung von Partikeln in den Grobporen der oberen Filterschicht führt zu einem Rückgang der Infiltrationsleistung und somit zu einer Reduktion der Filterdurchlässigkeit³. Feststoffe sollten daher möglichst schon vor dem Eintritt in die Bodenfilterkaskade zurückgehalten werden. In Anlehnung an das Merkblatt DWA-M 178 sollte daher eine Vorstufe zur Sedimentation des Oberflächenwassers vor der Filtrationsstufe angeordnet werden. Dabei sind Regenklärbecken ohne Dauerstau nach Arbeitsblatt ATV-A 166 zu bevorzugen⁴.

Der gesamten Anlage muss ein Beckenüberlauf vorgelagert werden, der nach der Füllung der Bodenfilterkaskade anspringt. In diesem Fall wird das unbehandelte Oberflächenwasser ohne Behandlung über einen Entlastungskanal in das Gewässer eingeleitet. Dieses ist insbesondere dann der Fall, wenn das tatsächliche Niederschlagsereignis das Bemessungsereignis überschritten hat.

Methodik

Die Untersuchungen des stofflichen Rückhaltevermögens (Aufbau des Bodenfilters) erfolgen getrennt von der Untersuchung der hydrologischen und hydraulischen Wirkungsweise der Bodenfilterkaskade. Das Filtermaterial muss eine ausreichende hydraulische Leistungsfähigkeit aufweisen, die bei der Planung einer Bodenfilterkaskade im Einzelfall nachgewiesen werden muss. In diesem Zusammenhang wurde die Durchlässigkeit verschiedener Filtermaterialien untersucht (Abb. 4). Die Bestimmung der Durchlässigkeit erfolgte dabei nach dem Filtergesetz von Darcy, welches ein laminares Strömungsverhalten voraussetzt⁵. Je nach Bodenart wurde die Durchlässigkeit des Filtermaterials nach DIN 18130-1 mit konstantem hydraulischem Gefälle oder veränderlichen hydraulischen Gefälle untersucht⁶. Gleichzeitig haben Versuche in einem halbtechnischen Versuchsaufbau mit konstantem hydraulischem Gefälle stattgefunden.

Neben der Bestimmung im Laborversuch wurden auch entsprechende Näherungsformel zur Berechnung der Durchlässigkeit herangezogen⁷.

² Heemeier (2007): 125

³ MUNLV (2002): 2-9

⁴ DWA-M 178 (2005): 19

⁵ Schröder et al. (1982): 160

⁶ DIN 18130-1 (1998-05)

⁷ Kézdi (1969): 128

Für die Untersuchungen zur Modifizierung der Abflussganglinie wurde eine Software zur Modellierung der Abläufe und Zusammenhänge in einer Simulation verwendet. Das Programm STORM der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker GmbH ist ein Modell für die Generierung von Niederschlags-Abfluss-Beziehungen mit integrierten Modulen zur Regenwasserbewirtschaftung und Schmutzfrachtmodellierung. Hierdurch ist es möglich, den Wasserhaushalt ganzer Einzugsgebiete zu simulieren. Die Simulation kann als Einzelereignis oder als Langzeitsimulation erfolgen⁸.

Neben der Vordimensionierung der einzelnen Entwässerungselemente nach den entsprechenden Arbeits- und Merkblättern sind die Überprüfung und der Vergleich des Abflussverhaltens unter der Verwendung von realen Zeitreihen möglich, so dass eine Vorhersage des tatsächlichen Abflusses ermöglicht wird.

Die Dokumentation durch Abflussganglinien an allen wichtigen Punkten, wie Gebietsablauf, Zulauf, Drosselabfluss, Überlauf und Wasserständen ermöglicht dabei eine detaillierte Darstellung des Abflussverhaltens.

Ergebnisse

Die Simulation des Abflussverhaltens der Bodenfilterkaskade erfolgte vergleichend zu einem einzelnen Regenrückhaltebecken für ein urbanes Einzugsgebiet in der Region Lübeck.

Die Simulation und der Vergleich des Abflussverhaltens von verschiedenen Anordnungen mit zwei, drei und z.T. mit vier Becken sollte zunächst die optimale Anordnung der unterschiedlichen Speicherbecken und deren Aufteilung unter Berücksichtigung eines vergleichbaren Gesamtvolumens aufzeigen. Die Simulation erfolgte anfangs mit einem Bemessungsregen (Blockregen) in Anlehnung an DWA-A117. Für die Bodenfilterkaskade stellte sich folgendes optimales Verhältnis zwischen dem Volumen der einzelnen Speicherbecken $(V_1, V_2 \text{ und } V_3)$ und deren Drosselabfluss $(Q_1, Q_2 \text{ und } Q_3)$ heraus (Abb. 5):

$$V_1 < V_2 < V_3$$

 $Q_1 > Q_2 > Q_3$

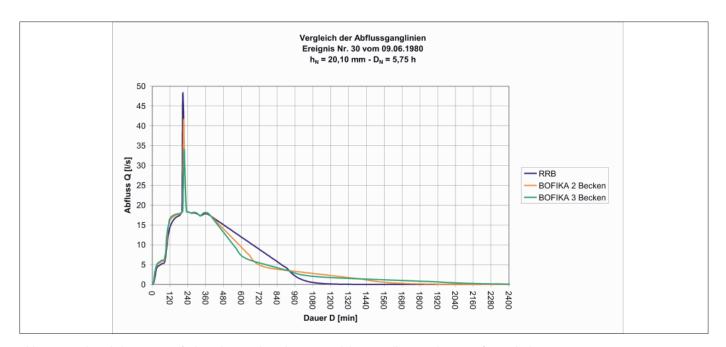


Abb. 5: Optimale Verhältnisse zur Aufteilung des Speichervolumens u7nd der Drosselleistung (hier: 3-stufige Kaskade)

Dabei verhält sich die Aufteilung der Drosselleistung gegenläufig zur Aufteilung der Speicherbecken. Während das erste Becken der Kaskade das kleinste Volumen aufweisen soll, muss die Drosselleistung hier am größten sein. Das letzte Becken soll dagegen über das größte Speichervolumen und die kleinste Drosselleistung verfügen.

Hierdurch ergeben sich vor allem Vorteile bei der Ausnutzung des Speichervolumens und der Begrenzung des Spitzenabflusses. Dieses wurde insbesondere durch Simulationen mit realen Einzelniederschlagsereignissen der Zeitreihe 1969 bis 2002 der DWD-Station Lübeck-Blankensee aufgezeigt. Die kaskadenförmige Anordnung besitzt dabei gegenüber einem einfachen Regenrückhaltebecken mit dem gleichen gesamten Retentionsvolumen eine größere Speicherreserve - es fließt also weniger Wasser direkt in das Gewässer. Gleichzeitig wird die Höhe des Spitzenabflusses z.T. deutlich verringert (Abb. 6)

Eine Langzeitsimulation über den gesamten Zeitraum 1969 bis 2002 berücksichtigte dabei auch Überlagerungseffekte von kurz aufeinander folgenden Niederschlägen. Dabei zeichnete sich ab, dass je größer die Anzahl der Kaskadenelemente gewählt wird, desto größer sich die Reduktion des Überlaufvolumens und die Reduktion des Spitzenabflusses ergeben. Eine höhere Beckenzahl wirkt sich auf das Abflussverhalten demnach positiv gegenüber einem einzelnen Regenrückhaltebecken bei gleichem gesamtem Speichervolumen aus. Der kritische Bereich der Abflussbeschleunigung wird bei beiden Anordnungen, Regenrückhaltebecken und Bodenfilterkaskade, gleichermaßen gut modifiziert. Hier ergeben sich kaum merkliche Unterschiede.

Die Bodenfilterkaskade soll bezüglich des Speichervolumens sowie des Flächen- und Kostenbedarfs mit einem Regenrückhaltebecken vergleichbar sein und sich dadurch von einem Retentionsbodenfilter nach Merkblatt DWA-M 178 abgrenzen. Trotzdem sind einige Parameter nach dem genannten Merkblatt zu beachten, um die Funktion des Bodenfilters zu gewährleisten.

Die o. g. Randbedingungen geben vor, dass der eingebaute Filter das Beckenvolumen nur geringfügig vergrößern soll. Dies geschieht zwangsläufig, da durch den Einbau des Filtermaterials Speichervolumen verloren geht. Dieses muss ausgeglichen werden, indem die Speicherkapazität um das Einbauvolumen abzüglich des zugehörigen Hohlraumgehaltes bzw. der Porosität des Filtermaterials erhöht wird. Letztendlich muss gegenüber dem Regenrückhaltebecken bei der Bodenfilterkaskade mit eingebautem Bodenfilter ein vergleichbares Rückhaltevolumen zur Verfügung stehen.

Des Weiteren muss beachtet werden, dass gegenüber dem Regenrückhaltebecken die Drosselleistung durch den Bodenfilter nicht beeinflusst wird. Dies bedeutet praktisch, dass der Filter stets einen größeren Durchfluss als die technische Drossel aufweisen muss. Hierbei muss der Effekt der Kolmation berücksichtigt werden, so dass die Anlage auch während ihrer gesamten Betriebszeit stabil betrieben werden kann. Wird dieser Effekt bei der Wahl des Filtermaterials nicht berücksichtigt, so kann dies schnell zu einer Abnahme der hydraulischen Leistungsfähigkeit und somit zu häufigeren Überlaufsituationen führen. Letztendlich ist dann der vorzeitige und kostenintensive Austausch des Filtermaterials notwendig.

Auf der anderen Seite muss die gewünschte Reinigungsleistung des Filters beachtet werden. Den Empfehlungen der DWA nach Merkblatt M178 für Retentionsbodenfilter liegen zufrieden stellende Ergebnisse gut funktionierender Anlagen zu Grunde. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die hydraulische Belastung eines Retentionsbodenfilters gegenüber der Bodenfilterkaskade sehr viel geringer ist.

Die Empfehlungen für den Bau von Retentionsbodenfiltern schreiben stets zweistufige Anlagen, bestehend aus Vorstufe und Filterbecken, vor⁹. Die Vorstufe besteht in der Regel aus einem Regenklärbecken gemäß DWA Arbeitsblatt ATV-A 166 und dem zugehörigen Merkblatt ATV-DVWK-M 176. Diese Vorstufe soll vor allem die Sedimentation des Oberflächenwassers bewirken, um die Kolmation des nachgeschalteten Filterbeckens zu reduzieren.

Für die Konstruktion des Filterbeckens ist vor allem die Wahl des Filtermaterials relevant. Ziel ist die mechanisch-biologische Regenwasserbehandlung, die durch die Abtrennung partikulärer Stoffe und den biologischen Abbau gelöster Stoffe erfolgt¹⁰. Die Anforderungen nach DWA-M 178 kann nach heutigem Kenntnisstand nur Sand ausreichend erfüllen (ausreichende Wasserdurchlässigkeit, strömungsmechanische Stabilität, gleichmäßige Durchströmung, ausreichende Basenausstattung, Schadstofffreiheit¹¹). Bindige Böden oder Kombinationen mit Sand sollten demnach nicht verwendet werden.

Favorisiert wird ein Sand, dessen Körnungslinie sich innerhalb der Sandfraktionen Feinsand (fs), Mittelsand (mS) und Grobsand (gS) bewegt¹².

Der Filterkörper ist einschichtig und in nicht verdichteter Bauweise herzustellen. Die Mindesthöhe der Filterschicht soll im konsolidierten Zustand 50 cm betragen. Ergänzt wird diese durch eine mindestens 25 cm starke Dränschicht aus Kies 2/8 mm, sowie einer 5 cm starken Deckschicht aus Dränkies 2/8 mm zur Verhinderung der Erosion an der Oberfläche¹³ ¹⁴.

- 9 DWA-M 178 (2005): 19
- 10 LfU (2002): 75
- 11 DWA-M 178 (2005): 22
- 12 DWA-M 178 (2005): 23
- 13 DWA-M 178 (2005): 20
- MUNLV (2002): 4-6: Nach dem "Handbuch Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfilter" ist eine Kiesschicht zum Erosionsschutz für den Betrieb eines Retentionsbodenfilters jedoch nicht förderlich.

Der Filterkörper sollte zur besseren Belüftung und Aufrechterhaltung einer durchlässigen Oberfläche mit einer Filtervegetation versehen werden. In diesem Zusammenhang hat sich insbesondere Schilf als Bewuchs bewährt¹⁵. Eine direkte Reinigungswirkung weist der Bewuchs allerdings nicht auf. Nährstoffe werden nur zu einem sehr geringen Anteil über die Pflanzen aufgenommen. Verantwortlich für die Reinigung des Oberflächenwassers sind Mikroorganismen, die sich im Filtermaterial befinden. Damit diese biologischen Abbauprozesse optimal verlaufen, ist eine ausreichende Sauerstoffversorgung notwendig, die über die ständig nachwachsenden Wurzeln der Pflanzen erfolgt. In diesem Zusammenhang ist ein Dauerstau in dem Filterbecken zu vermeiden. Gleichzeit führt absterbendes Pflanzenmaterial an der Filteroberfläche zur Etablierung einer Streuschicht, die einen erheblichen Teil der im Wasser befindlichen Feststoffe abfängt und somit die Kolmation verringert¹⁶.

Um eine ausreichende biologische Reinigungsleistung zu erreichen ist die Filtergeschwindigkeit zu begrenzen, so dass ein Flächenabfluss von $q = 0.02 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$ eingehalten wird. Bei entsprechend hohen Anteilen an Grobsand oder Feinkies soll dieser Wert auf $q = 0.01 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$ begrenzt werden. Ansonsten käme es aufgrund zu geringer Aufenthaltszeiten im Filterkörper zu einer Verringerung der Reinigungsleistung¹⁷.

Gleichzeitig muss die zulässige hydraulische Flächenbelastung von 50 m/a für einen Bodenfilter im Trennsystem eingehalten werden. Ab einem Wert von 70 m/a besteht in nassen Jahren die Gefahr des Filterversagens. In diesem Fall sollte die Filteroberfläche vergrößert werden¹⁸.

Örtliche Randbedingungen können im Einzelfall die Vergrößerung der Filteroberfläche einschränken. Dies stellt insbesondere dann ein Problem dar, wenn die Durchlässigkeit des Bodenfilters den Durchfluss stärker drosselt als durch die technische Drossel vorgesehen. In diesem Fall scheint die Wahl eines Filtermaterials mit erhöhter Durchlässigkeit, beispielsweise einem Kiesfilter, notwendig. Die Erhöhung der Durchlässigkeit und die Erhöhung des nutzbaren Porenvolumens führen jedoch zwangsläufig zu einer Verschlechterung der Reinigungsleistung gegenüber einer Anlage mit einem Sandfilter. Es ist davon auszugehen, dass biologische Abbauprozesse aufgrund der hohen hydraulischen Belastung und des geringen Porenvolumens nur in einem sehr geringen Ausmaß stattfinden. Die mechanische Reinigung des Oberflächenwassers durch Raumfiltration wird überwiegen. Die suspendierten Teilchen dringen dabei in bis zu 50 cm Tiefe weit in den Filter ein. Daher sollte die Filterdicke von 50 cm auch nicht unterschritten werden. Der Filter wirkt als Schlammspeicher¹⁹. Diese so genannte innere Kolmation ist nur schwer zur verhindern. Bei Sandfiltern erfolgt die Verstopfung der Poren häufig an der Filteroberfläche (äußere Kolmation). Mit einer entsprechenden Belüftung durch Bewuchs des Filters kann dieser Effekt jedoch verhindert oder reduziert werden. Eine Verhinderung der inneren Kolmation ist dagegen schwieriger zu erreichen. Daher ist es notwendig, den Großteil der sedimentären Stoffe schon vor dem Eintritt in die Bodenfilterkaskade zu entfernen. Trotzdem wird nach einer gewissen Zeit der Austausch des Filtermaterials notwendig sein.

Fazit

Die Einleitung von Oberflächenwasser aus urbanen Einzugsgebieten führt in Gewässern meist zu starken hydrologischen/hydraulischen und stofflichen Beeinflussungen. Diese können jeweils akute wie auch Langzeitwirkungen aufzeigen. Die Entwicklung einer Anlage zur Regenwasserbehandlung, die Bodenfilterkaskade, soll diese Einflüsse möglichst kostengünstig realisieren. Die BOFIKA ist dabei als zentrales Element der Regenwasserbewirtschaftung neben Regenrückhaltebecken (nach DWA-Arbeitsblatt A 117) und Retentionsbodenfilter (nach DWA-Merkblatt M 178) einzuordnen.

Die Untersuchung der hydrologischen/hydraulischen Eignung erfolgt mit dem Modell STORM. Zugrunde liegt hier ein vergleichbares Gesamtspeichervolumen, wie auch ein vergleichbarer Gesamtdrosselabfluss, für ein Regenrückhaltebecken nach DWA-A 117. Die Bemessung wird zunächst mit einem Blockregen simuliert, um schließlich das optimale Verhältnis der einzelnen Kaskadenbecken in Bezug auf Volumen und Drosselabfluss zu bestimmen. Dabei kann festgestellt werden, dass mit steigender Beckenzahl ein optimiertes Abflussverhalten im Gegensatz zum Regenrückhaltebecken erreicht werden kann. Im Anschluss folgt die Simulation des Abflussverhaltens mit realen Niederschlagsereignissen der Zeitreihe 1969 bis 2002 der DWD-Station Lübeck Blankensee. Hierbei können für die Abflussbeschleunigung vergleichbare Werte zwischen Regenrückhaltebecken und Bodenfilterkaskade beobachtet werden. Bei der Betrachtung des Spitzenabflusses und der Speicherreserve weist die Bodenfilterkaskade mit steigender Beckenzahl durchaus bessere Werte als das Regenrückhaltebecken auf.

Die Wahl des Bodenfilters zur Begrenzung der stofflichen Einflüsse erfolgt in Anlehnung an das Merkblatt DWA-M 178 für die Bemessung von Retentionsbodenfiltern. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass bei der Wahl des im Merkblatt favorisierten Filtersandes die Filteroberfläche zum Teil stark vergrößert werden muss. In diesem Zusammenhang erfolgt die Begrenzung der hydraulischen Flächenbelastung auf maximal 50 m/a. Des Weiteren muss der Flächenabflusses in den einzelnen Kaskadenbecken auf $q = 0.02 \text{ l/(s·m}^2)$ beschränkt werden.

- 15 DWA-M 178: 21
- 16 MULV (2007): 13, 14
- 17 DWA-M 178: 27
- 18 DWA-M 178: 29
- 19 LfU (2002): 49

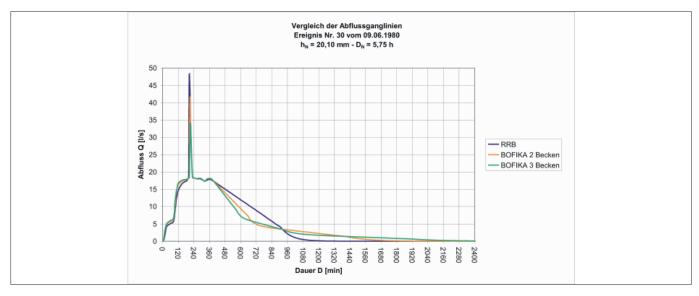


Abb. 6: Vergleich des Verlaufs der Abflussganglinien für ein Einzelereignis

Durch die Anpassung der Bodenfilterkaskade an diese beiden Parameter, verschiebt sich allerdings das optimale Verhältnis zwischen Anzahl der Becken und des Drosselabflusses bzw. des Speichervolumens. Bisher hatte die kaskadenförmige Anordnung der Becken einen Vorteil bei der Reduktion des Überlaufvolumens. Zum einen verlangt diese Anordnung für das erste Becken der Kaskade ein kleineres Speichervolumen gegenüber dem letzten Becken. Dagegen ist der Drosselabfluss des ersten Kaskadenbeckens größer einzustellen als des letzten Beckens.

Hierdurch ergibt sich für das erste Becken eine vergleichsweise sehr hohe hydraulische Belastung, während das letzte Becken relativ gering belastet ist. Stellt sich dieses Verhältnis für die Reduktion des Überlaufvolumens zunächst als positiv dar, führt dies jedoch aufgrund der ungleichen hydraulischen Belastung zu Problemen bei dem Einbau eines Bodenfilters. Wird das erste Becken den Grenzwerten für die Flächenbelastung und des Flächenabflusses angepasst, besteht durch die Vergrößerung der Filteroberfläche und somit auch des Speichervolumens die Gefahr, dass die folgenden Becken kaum noch mit Wasser beschickt werden. Dies kann zu Problemen bei der Filtervegetation führen.

Durch die unvermeidliche Zunahme des Gesamtvolumens kommt es bei der Bodenfilterkaskade zu einer Erhöhung des Bauvolumens und damit auch zu einer Erhöhung der Kosten. Im Vergleich würde ein einzelnes Bodenfilterbecken, ausgeführt als Retentionsbodenfilter, die Grenzwerte der hydraulischen Flächenbelastung und des Flächenabflusses bei einer kleineren Filteroberfläche und somit mit einem geringeren Speichervolumen einhalten.

Eine theoretische Möglichkeit stellt der Einsatz eines durchlässigeren Kiesfilters statt eines Sandfilters in der BOFIKA dar. Die BOFIKA würde durch die alleinige mechanische Reinigung gegenüber einem Retentionsbodenfilter mit Sandfilter jedoch sehr viel schlechtere Ablaufwerte erreichen. Bei hygienisch oder stofflich belasteten Zuläufen aus dem Einzugsgebiet dürfte diese Lösung unzureichend sein. Nur bei gering belasteten Zuläufen könnte die BOFIKA dann eine entsprechende Reinigungswirkung haben.

Da bei einem Raumfilter entgegen dem Sandfilter die innere Kolmation ein sehr viel größeres Problem darstellt (beim Sandfilter eher die Gefahr der äußeren Kolmation, die durch entsprechenden Bewuchs reduziert werden kann - bei der inneren Kolmation ist das nicht möglich), kann der vorzeitige Austausch des Filtermaterials zusätzliche Kosten verursachen.

Eine weitere Alternative zur BOFIKA stellt die Kombination von Retentionsbodenfilter und Regenrückhaltebecken dar. Hierdurch wird ein großer Teil des Niederschlagswassers in dem Retentionsbodenfilter behandelt. Das restliche Überlaufvolumen wird durch das Regenrückhaltebecken zurück gehalten und gedrosselt an den Vorfluter abgegeben. Dadurch gelangt nur ein geringer Teil des Oberflächenwassers gänzlich unbehandelt in den Vorfluter.

Die Erwartungen, die zu Beginn des F&E-Vorhabens an die Entwicklung einer Bodenfilterkaskade zur Behandlung von Regenwasserabflüssen gestellt wurden, konnten letztendlich nicht ausreichend erfüllt werden. Die Kombination der optimierten hydraulischen bzw. hydrologischen Eigenschaften einer Kaskade und des stofflichen Rückhalts eines Bodenfilters führten zu keinem zufrieden stellenden Ergebnis. Dieser Effekt war zu Beginn des Forschungsprojektes nicht absehbar. Erst die Modellierung des Abflussverhaltens der Kaskade unter Berücksichtigung der Vorgaben für einen Bodenfilter zeigte die gegenseitige negative Beeinflussung auf.

Bei der Planung von Entwässerungssystemen sollte nicht mehr die reine Regenwasserbehandlung im Vordergrund stehen. Vielmehr muss darauf geachtet werden, dass der Wasserhaushalt urbaner Einzugsgebiete möglichst keine oder eine nur geringe Änderung gegenüber dem potentiell natürlichen Zustand erfährt. Hierdurch können die negativen Einwirkungen auf das Gewässer wie auch auf den gesamten Natur- und Lebensraum begrenzt werden. Dazu zählt nicht nur die Beeinflussung des Abflusses, sondern auch der Versickerung und der Verdunstung.

In Bereichen, in denen eine Abflussvermeidung technisch nicht möglich ist, kann die Reduktion der Abflussbeschleunigung und des Spitzenabflusses bereits durch einfache Regenrückhaltebecken erreicht werden. Eventuell kann hier die kaskadenförmige Anordnung von mehreren Becken (ohne Bodenfilter) zu einer gewissen Optimierung des Abflussverhaltens und Reduktion von Überlaufvolumen führen.

Stoffliche Einträge in das Gewässer können nur zufrieden stellend mit einem Retentionsbodenfilter verhindert werden. Eine kaskadenförmige Anordnung von Bodenfilterbecken wie bei der BOFIKA führen zu einer problematischen, ungleichen Filterbelastung in den einzelnen Kaskadenbecken. Kombinationen von Regenrückhaltebecken und Retentionsbodenfilter erreichen dagegen gute Ablaufwerte²⁰.

Literatur:

DIN 18130-1 (1998-05):

Deutsches Institut für Normung e.V.: Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts, Berlin, Wien, Zürich, 1998

DWA-A 117 (2006):

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: Arbeitsblatt DWA-A 117 - Bemessung von Regenrückhalteräumen, Hennef, 2006

DWA-M178 (2005):

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: Merkblatt DWA-M 178 - Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Hennef, 2005

Heemeier (2007):

Heemeier, B.: Bestimmung der hydraulischen Kenngrößen des Anstauregelorgans ARO KS bezogen auf die Drosselleistung eines Mulden-Rigolen-Systems und die Übertragung der Ergebnisse auf eine Kleinspeicherkaskade, Abschlussarbeit für den Studiengang Bauingenieurwesen Master, Lübeck, 2007 (unveröffentlicht)

IPS (2005):

Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker: STORM - Handbuch, 2005

Kézdi (1969):

Kézdi, A.: Handbuch der Bodenmechanik, Band I: Bodenphysik, Berlin, Budapest, 1969

Looser (1999)

Looser, Ralf: Akkumulation und Metabolismus halogenierter Xenobiotika in Fischen als Indikatoren einer globalen Belastung, Inauguraldissertation, Fakultät für Naturwissenschaften der Universität Ulm, 1999

LfU (2002):

andesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Karlsruhe, 2002

MULV (2007):

Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz: Niederschlagswasserbehandlung durch Retentionsbodenfilteranlagen, 2007

MUNLV (2002):

Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Retentionsbodenfilter - Handbuch für Planung, Bau und Betrieb, Düsseldorf, 2002

Schröder et al. (1982)

Schröder, W.; Euler, G.; Schneider, K.: Grundlagen des Wasserbaus, Düsseldorf, 1982

Auswirkung verschiedener Nanopulver (NanoVit®) im Epoxidharz auf den Verschleiß

B. Schädel, G. Rüdiger, O. Jacobs, I. Arzer, Kunststoff-Kompetenzzentrum, FH-Lübeck U. Eschner, MSH Mineralstoffhandel GmbH

Zusammenfassung

Es wird der Einfluss verschiedener Nanopulvermischungen (Graphit, Graphit / SiO₂, Graphit / SiO₂ / Al₂O₃) auf das Verschleißverhalten von Epoxidharz dargestellt. Variiert wurde dabei jeweils der Füllstoffgehalt.

Abstract

The influence of different mixtures of nanopowders (graphite, graphite / SiO_2 , graphite / SiO_2 / Al_2O_3) on the wear performance of epoxy resin is shown in this paper. The filler content was varied.

1. Einleitung

Polymere werden zunehmend für Produkte eingesetzt, die tribologischen Belastungen ausgesetzt sind wie Lagerbuchsen, Zahnräder oder Beschichtungen zur Reibungsverminderung. Dabei zeichnen sich die Epoxidharze (EP) durch hohe Warmform- und Medienbeständigkeit sowie Härte und Steifigkeit aus. Besonders bei hohen Einsatztemperaturen und unter korrosiven Bedingungen sind die EP-Harze in derartigen Anwendungen Thermoplasten häufig überlegen [1]. Allerdings sind sie den Metallen und Keramiken in Tragkraft und thermischer Stabilität unterlegen. Um diese Nachteile zu überwinden und damit den Anwendungsbereich zu erweitern, werden Polymeren mechanische Verstärkungsmittel und interne Schmierstoffe zugemischt.

- 1. Durch Zugabe harter Partikel oder Fasern können Tragfähigkeit und Wärmebeständigkeit verbessert werden. Zusätzlich erhöhen diese Verstärkungsphasen auch die Wärmeleitfähigkeit, was zu einer Verringerung der Temperaturen im Reibkontakt führt.
- 2. Selbstschmierende Zuschlagstoffe wie PTFE oder Graphit reduzieren den Reibungskoeffizienten. Dadurch nehmen die Scherbeanspruchung der Oberfläche und häufig auch der Verschleiß ab.

Seit der letzten Dekade werden zunehmend Nanofüllstoffe als Verstärkung für tribologisch beanspruchte Kunststoff-Compounds verwendet. Die Vorteile gegenüber klassischen Mikrofüllstoffen liegen zum Beispiel in der Möglichkeit sehr dünne Beschichtungen und mikromechanische Komponenten herzustellen. Dabei kommt es gewöhnlich nicht zu Versprödung und Minderung der Zugfestigkeit, wie es bei mikroskopischen Füllungen oft der Fall ist [2,3].

Eine Anzahl von Publikationen beschreibt den vorteilhaften Einfluss einiger Nanofüllstoffe (TiO2, Al2O3, SiO2, Si3N4 und andere) auf die tribologischen Eigenschaften von EP [z.B. 4-8]. Die Kombination von Nanofüllstoffen und mikroskaligen Schmier- und Verstärkungsstoffen bringt zusätzliche positive Effekte, wie einige neuere Studien zeigen [z.B. 8-14].

Dieses Papier beschäftigt sich mit der systematischen Verschleißoptimierung von Epoxidharz durch Füllen mit Graphit, Nano-SiO2 und Nano-Al2O3 sowie deren Kombinationen und der Variation der Gesamtmenge an Füllstoff. Zusätzlich wurden Zugversuche und Kerbschlagbiegeversuche durchgeführt.

2. Experimentelle Details

Compoundherstellung

Es wurden Epoxidharz-Compounds mit Mischungen verschiedener Nano-Additive in unterschiedlichen Nano-Konzentrationen hergestellt.

Bei dem verwendeten Harz handelt es sich um Bisphenol-A-EP-Harz (EEW 171). Als Härter kam Albidur HE 600 (AEW 174) beides von der Firma nanoresins AG, Geesthacht zur Anwendung. Bei den Nanofüllstoffen handelt es sich um NanoVit®, einer Mischung aus plasmabehandeltem Grafit, einer modifizierten nanoskaligen Siliziumverbindung (SiO2), sowie um nanoskaliges Aluminiumoxid (Al2O3), die von der Firma MSH zur Verfügung gestellt wurden. Als Additiv in Ölen reduziert NanoVit®, unter Druck und Temperatur Verschleiß und Reibung durch Ausbildung einer festanhaftenden, elastischen, selbst regulierenden Schicht auf den Reibflächen [15].

Um den Einfluss der einzelnen Komponenten auf die tribologischen Eigenschaften von Epoxidharz besser zu verstehen, wurden das EP hier sowohl mit Grafit als auch mit einer Mischung aus Grafit und ${\rm SiO_2}$ sowie der NanoVit-Mischung aus Grafit und ${\rm SiO_2}$ und ${\rm Al_2O_3}$ gefüllt. Diese Additive wurden mit Epoxidharz zu 2%-igen Masterbatches (2 Gewichts-% Gesamtadditivanteil bezogen auf die Harzkomponente ohne Härter) gemischt und im Anschluss auf verschiedene Füllgehalte verdünnt. So wurden Mischungen von 0,05 wt-% bis 0,2 wt-% Nanopartikeln im fertigen Compound hergestellt und gemäß der Herstellerangaben ausgehärtet. Mit diesen Proben wurde der optimale Nanofüllstoffgehalt (minimale Verschleißrate) ermittelt.

Für die Herstellung der Masterbatches wurde das Nanopulver zunächst mit dem SpeedMixer™ DAC 150 FVZ der Firma Hauschild Engineering (Abb. 1a) in das Basisharz eingemischt. Dieser arbeitet nach dem Prinzip einer dual asymmetrischen Zentrifuge. Auf einem Drehteller ist unter einem Winkel ein Dreharm befestigt, der den Becher mit dem Probenmaterial aufnehmen kann. Während sich der Teller mit bis zu 3500 min⁻¹ dreht, rotiert der Becher in die entgegen gesetzte Richtung. Bei dieser Höchstdrehzahl von 3500 min⁻¹ wurde drei Minuten lang gemischt.





Abb. 1: SpeedMixer™

DAC 150 FVZ der Firma Hauschild

Ultraschall-Prozessor UP 400S (400W) der Firma Dr. Hielscher

Um eine besser Dispergierung der Partikel zu erhalten, wurde im Anschluss an den Mischprozess mittels Ultraschall dispergiert. Dazu wurde der Ultraschall-Prozessor UP 400S (400 W Leistung) der Firma Dr. Hielscher GmbH (Abb. 1b), mit einer 7 mm Titan-Sonotrode, verwendet. Wegen der Erwärmung des Harzes während des Beschallens, wurde intermittierend in Intervallen von einer Minute bei voller Amplitude gemischt. Die effektive Dauer der Ultraschall-Behandlung betrug 10 Minuten.

Um die Luft, die während des Mischprozesses in das Harzgemisch prozessbedingt eingemischt wurde, wieder aus dem Harz zu eliminieren, wurde die Mischung 10 Minuten lang evakuiert.

Diese Masterbatches wurden mit dem Basisharz auf die entsprechenden Füllgehalte von 0,05% bis 0,2% verdünnt und wiederum im SpeedMixer und mit Ultraschall gemischt. Anschließend wurde der Härter zugegeben. Dieser wurde unter Vakuum mittels Magnetrührer eingemischt.

Die so vorbereiteten Mischungen wurden aus den Bechern in dafür hergestellte Silikonformen gegossen. Die anschließende Aushärtung erfolgte im Ofen entsprechend der Angaben in Tabelle 1.

Tabelle 1: Härtungszyklus für das Bisphenol-A-EP-Harz + Albidur HE 600

Zeit [h]	1	1	1	4
Temperatur [°C]	90	120	140	160

2.2 Versuchsdurchführung

Die hier vorgestellten Verschleißversuche wurden in Kugel-Prisma-Tribometern "Tribodata" der Dr. Tillwich GmbH Werner Stehr entsprechend ISO 7148-2 durchgeführt. In diesen Tribometern werden die Proben einer gleichförmigen Gleitbewegung ausgesetzt.

Das Funktionsprinzip dieses Prüfstandes sowie die Anordnung von Proben und Kugel im Prisma zeigt die Abbildung 2.

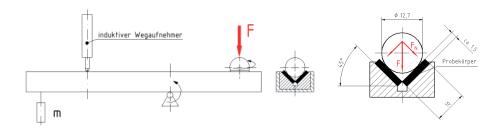


Abb.2: Prinzipskizze des Kugel-Prisma-Tribometers, Prismenöffnungswinkel 90°, sowie die Anordnung von Proben und Kugel im Prisma

Die Probenplättchen werden in die Innenflächen eines Prismas geklebt, welches an dem Ende einer Belastungswippe befestigt ist. Durch ein Gewicht wird das Prisma gegen eine 1/2-Zoll Kugel gedrückt, die um ihre vertikale Achse gleichförmig rotiert.

In den durchgeführten Versuchen wurde mit einem Gewicht von 30 N gearbeitet, woraus sich eine Normalkraft von 21,2 N pro Probe ergibt. Die Drehzahl betrug 1 Hz, die Gleitgeschwindigkeit im Reibkontakt lag demnach bei ca. 28,2 mm/s. Die Versuchsdauer betrug 60 Stunden (entsprechend 6000 m Gleitweg). Wegen der sphärischen Kontaktgeometrie ist der p • v-Wert während des Versuchs nicht konstant, sondern nimmt stetig ab. Nach Versuchende betrugen die Durchmesser der Verschleißmarken dann etwa 2-5 mm, was Kontaktdrücken von 1-7 MPa entspricht. Die p • v-Werte am Versuchende betrugen demnach maximal 0,2 MPa • m/s.

Ein induktiver Wegaufnehmer erfasste die Bewegung der Wippe. Aus deren Kippbewegung wurde das Verschleißvolumen V berechnet. Das Verschleißvolumen wurde als Funktion des Gleitwegs L aufgetragen. Im stationären Zustand ergab sich dann eine Gerade, an die eine Funktion der Form $V = V_0 + w \cdot L$ gefittet wurde. Die Steigung dieser Kurve wurde durch die Normalkraft F_N dividiert, um die spezifische Verschleißrate k_s zu erhalten:

$$k_{\rm s} = \frac{w}{21,2 \, N} \, \left[\frac{m m^3}{Nm} \right]$$

Alle Versuche wurden unter Normklima (23 °C; 50% Luftfeuchtigkeit) durchgeführt. Jede Kombination wurde dreimal getestet, die Ergebnisse gemittelt. Da zwei Tribometer mit jeweils sechs Belastungswippen vorhanden sind, konnten zwölf Proben (vier Kombinationen) gleichzeitig getestet werden. Die Verschleißflächen waren stets die unbehandelten Gussoberflächen.

Die mit unterschiedlichen Nanofüllstoffen gefüllten Proben wurden gegen X5CrNi18-10 getestet. Rauhigkeit und Härte des Gegenpartnermaterials sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Gemessene Rauhigkeit und Härte der Kugeln

Material	Rauhigkeit Rz [μm]	Härte [HV]	
X5CrNi18-10	0,31	375	

Die Bestimmung der Zugfestigkeit wurde im Zugversuch nach EN ISO 527-2 mit Probekörpertyp 1BA (Länge des parallelen Teils = 30 mm; Breite in der Taille 5 mm; Dicke 2 mm) an einer Zugprüfmaschine der Fa. Instron Wolpert durchgeführt. Zur Kraftmessung kam eine Kraftmessdose mit einer Nennlast von 25 kN zum Einsatz. Die direkte Dehnungsmessung erfolgte am Querschnitt in der Mitte der Probe. Neben dem Maschinenweg wurde mittels induktivem Wegaufnehmer die Längenänderung der Proben direkt gemessen und daraus die Dehnung berechnet. Die Messlänge des Wegaufnehmers betrug 25 mm. Der Probenkörper wurde entlang seiner größten Hauptachse bei konstanter Geschwindigkeit von 1 mm/min gedehnt, bis er brach.

Alle Messwerte stellen das arithmetische Mittel aus der Prüfung von 5 - 6 Probenkörpern je Probenmaterial dar. Zur Beurteilung der Zähigkeit wurden Schlagbiegeversuche nach Charpy (EN ISO 179) an ungekerbten Prüfkörpern durchgeführt. Für die Prüfung wurde ein Pendel mit einem Arbeitsvermögen von 0,981 Nm verwendet. Die Probenkörper hatten die Abmessung 80 mm x 6 mm x 5 mm. Die angegebene Schlagzähigkeit stellt das arithmetische Mittel aus der Prüfung von 5 Probenkörpern je Probenmaterial dar.

3. Ergebnisse und Diskussionen

EP-Harz mit Grafit

Abbildung 3 zeigt die Verschleißvolumen-Reibweg-Diagramme der Compounds mit unterschiedlichen Grafit-Konzentrationen. Dargestellt sind jeweils die Mittelwertkurven, die aus den Einzelwerten aus drei Versuchen berechnet wurden.

Während die Verschleißzunahme am Beginn des Versuchs bei allen Compounds relativ gleich ist, bei reinem Harz sogar am niedrigsten, steigt sie dort im weiteren Verlauf stark an und erreicht erst nach mehr als 4000 m Gleitweg einen stationären Bereich mit einer sehr hohen Verschleißrate. Die Probe mit dem niedrigsten Grafitgehalt von 0,05% verhält sich ähnlich. Sie hat am Anfang die nächst niedrigere Verschleißrate, der folgende Anstieg ist allerdings deutlich geringer als der des reinen Harzes. Die Proben mit 0,1% und 0,15% zeigen beinahe von Anfang an ein lineares Verhalten, während die Verschleißrate der Probe mit dem höchsten getesteten Füllgrad von 0,2% im Laufe des Versuchs abnimmt und im stationären Bereich den niedrigsten Wert aller nur mit Grafit gefüllten Proben erreicht.

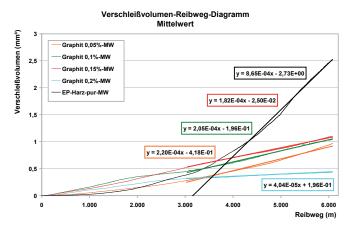


Abb. 3: Verschleißvolumen über Reibweg von EP-Harz mit unterschiedlichen Grafit-Konzentrationen vs. X5CrNi18-10

In Tabelle 3 sind die spezifischen Verschleißraten (k_s) der EP-Grafit-Proben, sowie die mechanischen Kennwerte zusammengefasst. Die Verschleißraten wurden aus der Steigung der Mittelwertkurven im stationären Bereich ermittelt.

Tabelle 3: Verschleißraten s	sowie mechanische Kennwerte	von EP-Harz mit unterschiedlicher	Grafit-Konzentrationen

EP-Harz mit Grafit	k _s [10 ⁻⁸ mm³/Nm]	a _{cu} [mm³/Nm]	Zugfestigkeit [MPa]	Bruchdehnung [%]	E-Modul [MPa]
0,05%	1.037	12	47,18	2,48	2.770
0,10%	967	8	54,69	3,39	2.780
0,15%	858	8	46,76	2,39	2.926
0,20%	190	9	53,71	2,52	3.019
EP-Harz pur	4.078	22	71,39	3,68	2.655

EP-Harz mit Grafit und SiO₂

Die Verschleißvolumen-Reibweg-Diagramme der Proben, die mit Grafit und SiO₂ gefüllt sind, zeigt Abbildung 4 im Vergleich zum ungefüllten Harz.

Die gefüllten Proben verhalten sich von Anfang an fast linear, der Anstieg der Verschleißrate, der bei dem reinen Harz zu sehen ist, tritt nicht auf. Die Verschleißrate im stationären Bereich ist somit deutlich geringer. Einzige Ausnahme bildet der mit 0,05% gefüllte Compound. Dort ist der Verschleiß schon zu Beginn des Versuchs höher als bei allen anderen Proben, der Kurvenverlauf ist zudem leicht progressiv. Dennoch ist die spezifische Verschleißrate im stationären Bereich kleiner als die des reinen Harzes.

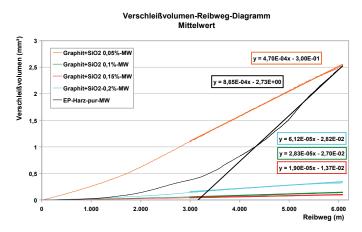


Abb. 4: Verschleißvolumen von EP-Harz mit unterschiedlichen Konzentrationen der Mischung aus Grafit und SiO,

Tabelle 4 stellt die aus Abbildung ermittelten spezifischen Verschleißraten den mechanischen Kennwerten gegenüber.

Tabelle 4: Verschleißrate und mechanische Kennwerte der mit unterschiedlichen Konzentrationen an Grafit und SiO₂-gefüllten Compounds

EP-Harz mit Grafit / SiO ₂	k _s [10 ⁻⁸ mm³/Nm]	a _{cu} [mm³/Nm]	Zugfestigkeit [MPa]	Bruchdehnung [%]	E-Modul [MPa]
0,05%	2.216	11	43,89	2,08	2.756
0,10%	133	12	71,44	4,36	2.614
0,15%	89	11	74,54	5,75	2.433
0,20%	288	10	64,47	3,26	2.795
EP-Harz pur	4.078	22	71,39	3,68	2.655

EP-Harz mit Grafit, SiO, und Al,O, (NanoVit°)

Die Mittelwertkurven von EP-Harz mit unterschiedlichen Grafit / SiO_2 / Al_2O_3 – Konzentrationen sind in Abbildung 5 dargestellt

Wieder verlaufen die Kurven der gefüllten Harze von Anfang an fast linear mit sehr geringer Steigung. Eine Ausnahme bildet der Compound mit 0,05% **NanoVit**°. Hier ist der Verschleiß am Anfang wieder relativ groß. Der Kurvenverlauf ist allerdings degressiv, so dass nach ca. 1000 m eine stationäre Phase mit ebenfalls geringer Steigung erreicht wird. Nach kurzer Zeit weisen alle Compounds einen deutlich geringeren Verschleiß als das Reinharz auf.

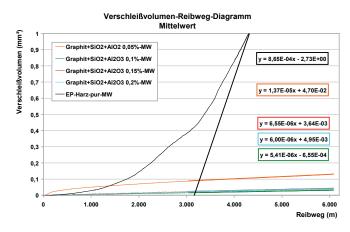


Abb. 5: Verschleißvolumen von EP-Harz mit unterschiedlichen Grafit / SiO₂ / Al₂O₃-Konzentrationen

In Tabelle 5 sind wieder die spezifischen Verschleißraten und mechanischen Kennwerte der mit NanoVit gefüllten Proben zusammengefasst.

Tabelle 5: Verschleißvolumen und mechanische Kennwerte von EP-Harz mit unterschiedlichen Grafit / SiO2/ Al2O3-Konzentrationen (NanoVit®)

EP-Harz mit Grafit / SiO ₂ / Al ₂ O ₃	k _s [10 ⁻⁸ mm³/Nm]	a _{cu} [mm³/Nm]	Zugfestigkeit [MPa]	Bruchdehnung [%]	E-Modul [MPa]
0,05%	65	11	51,84	2,69	2.267
0,10%	26	13	73,61	5,58	2.136
0,15%	31	12	75,56	5,69	2.330
0,20%	28	13	57,78	2,82	3.002
EP-Harz pur	4.078	22	71,39	3,68	2.655

Gegenüberstellung der verschiedenen Materialien

Die folgenden Diagramme verdeutlichen die Abhängigkeit der Eigenschaften vom Füllstoffgehalt und der Zusammensetzung. In Abbildung 6 sind die Verschleißraten der Compounds mit den verschiedenen Füllstoffmischungen in Abhängigkeit vom Gesamtfüllstoffgehalt aufgetragen.

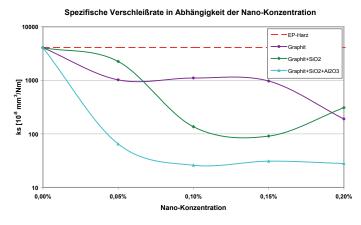


Abb. 6: Auswirkung des Füllstoffgehalts auf die spezifische Verschleißrate

Zunächst fällt auf, dass alle gefüllten Proben eine zum Teil deutlich geringere spezifische Verschleißrate aufweisen als das reine Harz. Bei den Compounds die mit der **NanoVit***-Mischung aus Grafit, SiO₂ und Al₂O₃ gefüllt sind, ist diese bei allen Füllstoffgehalten um zwei Größenordnungen kleiner und damit auch geringer als bei allen anderen getesteten Materialien.

Das Füllen mit Grafit bewirkt eine Verbesserung des Verschleißwiderstandes mit steigendem Füllstoffgehalt, während die beiden Füllstoffmischungen, die nanoskaliges SiO_2 bzw. Al_2O_3 enthalten, zunächst eine Abnahme der Verschleißrate mit steigendem Füllstoffgehalt aufweisen. Diese erreicht bei 0,1% bzw. 0,15% ein Minimum und steigt dann mit zunehmendem Füllstoffgehalt wieder leicht an, bzw. bleibt innerhalb des getesteten Bereichs fast konstant niedrig. Dieses Durchlaufen eines Verschleißminimums ist typisch für nanopartikelverstärkte Kunststoffe (vergl. z.B. [7-11]).

Abbildung 7 zeigt die Zusammenhänge noch einmal als Balkendiagramm. Dort sind auch die Fehlerbalken eingezeichnet, deren Begrenzungen der höchste bzw. der niedrigste Wert aus den drei Einzelmessungen bilden. Es ist erkennbar, dass die Compounds mit der geringsten Verschleißrate auch die geringste Streuung aufweisen.

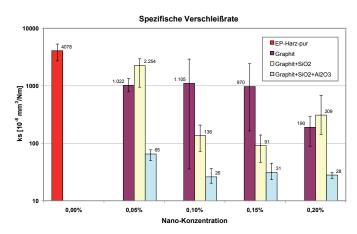


Abb. 7: Vergleich der spezifischen Verschleißraten

Die Schlagzähigkeiten aller getesteten Materialien sind in Abbildung 8 gegenübergestellt.

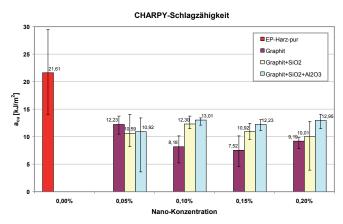


Abb. 8: Vergleich der CHARPY-Schlagzähigkeit

Von den gefüllten Harzen weisen die Proben mit dem Gemisch aus allen drei Füllstoffen bei Füllgraden von 0,1% bis 0,2% die höchsten Schlagzähigkeiten mit der geringsten Streuung auf (dargestellt ist wieder der höchste und der niedrigste tatsächlich gemessene Wert). Diese Proben hatten auch den höchsten Verschleißwiderstand. Die Zähigkeit aller gefüllten Compounds ist allerdings geringer als die des Reinharzes. Die Unterschiede der verschieden gefüllten Proben untereinander sind zudem geringer als die Differenz zum ungefüllten Harz, welches allerdings auch eine hohe Streuung aufweist. Den negativsten Einfluss auf die Zähigkeit hat das Grafit, was sich auch in der Bruchdehnung widerspiegelt, wie Abbildung 10 zeigt.

In Abbildung 9 werden die Zugfestigkeiten der Proben verglichen. Während die Proben mit Mischungen aus Grafit und SiO₂ bzw. Grafit, SiO₂ und Al₂O₃ bei 0,1% und 0,15% Füllstoffanteil eine leicht höhere Zugfestigkeit als das Reinharz aufweisen, wird sie bei den anderen Konzentrationen verringert. Grafit hat auch hier wieder den größten Einfluss.

Ein fast identisches Bild zeigt sich beim Vergleich der Bruchdehnungen in Abbildung 10. Die mehrkomponentigen Compounds übertreffen auch hier bei Konzentrationen von 0,1% und 0,15% die Werte des Reinharzes, während bei den anderen Konzentrationen und beim Graphit ein Abfall zu beobachten ist.

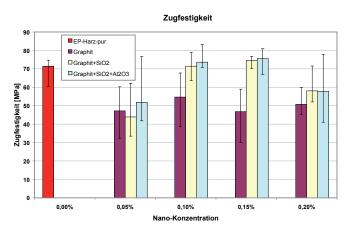


Abb. 9: Vergleich der Zugfestigkeit

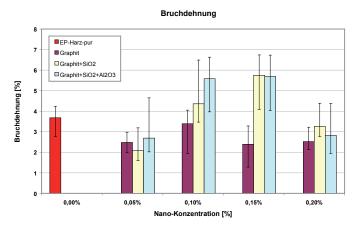


Abb. 10: Vergleich der Bruchdehnungen

Der E-Modul wird hingegen durch das Grafit leicht erhöht (Abbildung 11), während die anderen Compounds den E-Modul kaum beeinflussen, bzw. zu einer Verringerung führen. Letzteres ist am stärksten bei dem Mehrkomponenten-Compound mit Al2O3 der Fall. Ausnahme bilden die Compounds mit 0,2% Gesamtfüllstoffanteil. Dort ist der E-Modul gegenüber dem des Reinharzes leicht erhöht, dessen E-Modul aber im Streubereich der gefüllten Harze liegt.

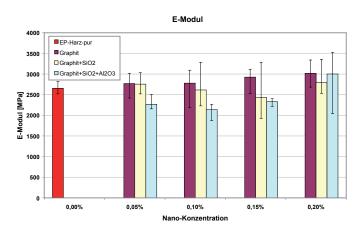


Abb. 11: Vergleich des E-Moduls

4. Zusammenfassung und Ausblick

Durch das Füllen mit Mischungen aus plasmabehandeltem Grafit, modifiziertem Nano-SiO2 sowie modifiziertem Nano-Al2O3 (NanoVit®) kann der Verschleiß von Epoxidharz signifikant (bis zu zwei Größenordnungen) verringert werden. Den deutlichsten Effekt zeigte der Mehrkomponentencompound aus allen drei Füllstoffen. Dort zeigt sich ein leichtes Minimum der Verschleißrate bei 0,1%. Bei dem Compound mit Grafit und SiO2 war bei 0,15% ein deutliches Minimum zu beobachten, allerdings bei höheren Verschleißraten. Beim Grafit-EP-Compound sinkt die Verschleißrate mit steigendem Füllstoffgehalt.

Die verschleißbeständigen Compounds zeigen kein spezielles Einlaufverhalten, ein Anstieg der Verschleißrate findet im Gegensatz zum ungefüllten Harz nicht statt.

Die Zähigkeit wird dagegen negativ durch die Füllstoffe beeinflusst. Die Compounds mit dem höchsten Verschleißwiderstand weisen allerdings im Vergleich zu den anderen gefüllten Compounds die höchste Zähigkeit sowie die höchste Zugfestigkeit und Bruchdehnung auf. Die Zugfestigkeit ist dabei leicht, die Bruchdehnung deutlich höher als die des Reinharzes. Zugfestigkeit und Bruchdehnung der anderen Compounds sind gegenüber den Werten des Reinharzes dagegen vermindert.

Die E-Module der gefüllten Compounds haben in etwa das Niveau des Reinharzes, wobei hier das Grafit eine leichte Erhöhung bewirkt, während die mit Al2O3 gefüllten Materialien bei den niedrigen Füllgraden zu einer Verringerung führen.

Durch Füllen mit Al2O3 konnte insbesondere der Verschleiß der multikomponentigen Epoxy-Compounds weiter verbessert werden. Um den Einfluss des Al2O3 besser zu verstehen, wären weitere Untersuchungen, bei denen das Harz nur mit Aluminiumoxid bzw. mit Mischungen aus Al2O3 und Grafit sowie Kombinationen von Al2O3 und SiO2 gefüllt wird, von Nöten.

Um die Compounds weiter zu optimieren besteht darüber hinaus die Möglichkeit, die Verhältnisse der Füllstoffe zueinander zu variieren. Zum Beispiel wäre zu untersuchen, ob Grafit auch in Kombination mit den Nanofüllstoffen bei höherem Füllgrad den Verschleiß weiter verringern kann.

Nicht zuletzt bieten die kleinen Abmessungen der Füllstoffe und das Potenzial, verbesserte tribologische Eigenschaften in polymeren Matrices zu erzielen, auch interessante Möglichkeiten für den Einsatz in Gleitlacken.

Fachhochschule Lübeck, Mönkhofer Weg 239, 23562 Lübeck,

Email: jacobs@fh-luebeck.de, Tel.: 0451-300-5323 / 5233,

Fax: 0451-300-5037

MSH Mineralstoffhandel GmbH, Nicolaus-Otto Str. 10, 89079 Ulm-Donautal,

Email: u.eschnermsh-nanovit.de, Tel.: 0731-705 33 40,Fax:0731-705 33 41

QUELLEN

- [1] O. Jacobs, R. Jaskulka, Ch. Tegethoff, G. Schlicke, J. Brand, Optimierung von Gleitpaarungen auf Kunststoffbasis für unterschiedliche Einsatzbedingungen, 44. Tribologie-Fachtagung, Göttingen, 2003
- [2] F.H. Gojny, M.H.G. Wichmann, U. Köpke, B. Fiedler, K. Schulte, Carbon nanotube-reinforced epoxy-composites: enhanced stiffness and fracture toughness at low nanotube content, Comp. Sci. Technol. 64 (2004) 2363-2371
- [3] Ch. Roscher, J. Adam, Ch. Eger, M. Pyrlik, Novel Radiation Curable Nanocomposites with Outstanding Material Properties, Proc. RadTech 2002, April 28 May 1, 2002, Indiana
- [4] C.B. Ng, L.S. Schadler, R.W. Siegel, Synthesis and Mechanical Properties of TiO2-Epoxy Nano-composites, Nano-Structured Materials 12 (1999) 507-510
- [5] B. Wetzel, M.Z. Rong, F. Haupert, K. Friedrich, Verbesserung der Eigenschaften von Polymeren durch Nanopartikel, in: M. Neitzel (Hrsq.), IVW-Kolloquium 2002, Kaiserslautern 2002
- [6] Ming Qiu Zhang, Min Zhi Rong, Shu Li Yu, Bernd Wetzel, Klaus Friedrich, Effect of particle surface treatment on the tribological performance of epoxy based nanocomposites, Wear 253 (2002) 1086-1093
- [7] Guang Shi, Ming Qiu Zhang, Min Zhi Rong, Bernd Wetzel, Klaus Friedrich, Friction and wear of low nanometer Si₃N₄ filled epoxy composites, Wear 254 (2003) 784-796
- [8] O. Jacobs, B. Schädel, M. Cholewa, Verschleißminimierte Nano-Composites auf Epoxidharzbasis, Tribologie-Fachtagung, Göttingen, 2004
- [9] K. Friedrich, Z. Zhang, A.K. Schlarb, Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites, Composites Science and Technology 65 (2005) 2329-2343
- [10] O. Jacobs, B. Schädel, G. Rüdiger, Verschleißverhalten von Nano-SiO₂-gefülltem Epoxidharz, Tribologie und Schmierungstechnik, 2007, in press
- [11] O. Jacobs, W. Xu, B. Schädel, W. Wu, Wear Behaviour of Carbon Nanotube Reinforced Epoxy Resin Composites, Tribol. Lett. 23 (2006) 65-75
- [12] M.L. McCook, B. Boesl, D.L. Burris, W.G. Sawyer, Epoxy, ZnO, and PTFE nanocomposite: friction and wear optimisation, Tribology Letters 22 (2006) 253-257
- [13] Li Chang, Zhong Zhang, Lin Ye, Klaus Friedrich, Tribological properties of epoxy nanocomposites III. Characteriastics of transfer films, Wear 262 (2007) 699-706
- [14] H. Chen, O. Jacobs, W. Wu, G. Rüdiger, B. Schädel, Effect of Dispersion Method on Tribological Properties of Carbon Nanotube Reinforced Epoxy Resin Composites, Polymer Testing, 2007, in press
- [15] TÜV Thüringen, Prüfbericht 8141.076.06, Arnstadt, 2006

Schwarmintelligenz - Was ist das und welcher Nutzen steckt darin?

Stefan Krause

Einleitung

Seit einigen Jahren taucht der Begriff "Schwarmintelligenz" mit zunehmender Häufigkeit in den Medien auf. Sucht man danach im Internet bekommt man zurzeit ca. 30.000 Treffer von Google und 162.000 Treffer von Yahoo. Was genau ist mit diesem Begriff gemeint? Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten. Allzu häufig wird "Schwarmintelligenz" im Sinne eines Modewortes verwendet, das alle Arten dezentraler Organisation bezeichnet oder pauschal alle Phänomene abdeckt, bei denen Gruppen von Individuen im Spiel sind. Dadurch entsteht leicht der Eindruck, es handle sich lediglich um eine neue Bezeichnung für etwas Altbekanntes. Zwei weitere Begriffe, die meistens in der gleichen Bedeutung verwendet werden, sind "kollektive Intelligenz" und "Weisheit der Massen" (oder auch "Weisheit der Vielen"). Letztere Bezeichnung wird vor allem verwendet, wenn Menschengruppen im Spiel sind. Sie geht auf das populäre Buch "The Wisdom of Crowds" von James Surowiecki zurück (Surowiecki 2004).

Einen wesentlichen Ausgangspunkt für das Interesse an Schwarmintelligenz bildet ein Artikel des britischen Naturforschers Francis Galton aus dem Jahr 1907. Unter dem Titel "Vox Populi" beschrieb er eine Beobachtung, die er bei einem Schätzwettbewerb auf einer Nutztiermesse gemacht hatte (Galton 1907). Bei dem Wettbewerb ging es darum, das Schlachtgewicht eines ausgestellten Ochsen zu erraten. Eine Auswertung der ungefähr 800 abgegebenen Schätzungen zeigte, dass ihr Median um weniger als 1% vom richtigen Wert abwich. Galton betrachtete dies als ein Indiz für die Funktionstüchtigkeit demokratischer Entscheidungsprozesse: "The average competitor was probably as well fitted for making a just estimate of the dressed weight of the ox, as an average voter is of judging the merits of most political issues on which he votes".

Die Tatsache, dass in einer Menge von unabhängigen individuellen Einschätzungen ein enormes Potential liegen kann, gewinnt in einer Zeit, in der mehr und mehr der Eindruck entsteht, dass die zunehmende Komplexität einer globalisierten Welt auch vermeintlichen Experten über den Kopf wächst, natürlich stark an Bedeutung. Vielleicht erklärt dies zumindest teilweise das wachsende Interesse an den Möglichkeiten der Schwarmintelligenz.

Eine Eingrenzung des Begriffs

Noch gibt es keine klare Definition dessen, was Schwarmintelligenz ist. Das hängt möglicherweise damit zusammen, dass es sich um eine interdisziplinäre Angelegenheit handelt und damit zwangsläufig unterschiedliche Sichtweisen existieren. Einen besonders interessanten Zugang bietet sicherlich diejenige Wissenschaft, auf die der Name "Schwarmintelligenz" letztendlich zurückgeht: die Biologie. Bei vielen Tierarten setzt die individuelle Intelligenz den Handlungsmöglichkeiten der Tiere klare Grenzen. Deshalb lässt sich hier leichter zwischen Individual- und Schwarmintelligenz trennen als beim Menschen. (Sicherlich besitzt auch die menschliche Intelligenz Grenzen. Es fällt uns nur sehr schwer diese zu erkennen.) Doch wo genau beginnt Schwarmintelligenz? In der Natur lässt sich beobachten, dass es Tieren in der Gruppe möglich ist, Dinge zu tun, die dem Einzeltier nur begrenzt oder gar nicht möglich sind. Durch die Jagd in Gruppen können z.B. größere oder schnellere Beutetiere erlegt werden. Umgekehrt ist es für in Gruppen lebende Beutetiere, z.B. Fische oder Vögel, leichter, einen sich nähernden Räuber frühzeitig zu entdecken. Dabei handelt es sich um Gruppenleistungen, bei denen in erster Linie physische Fähigkeiten kombiniert werden, wobei die Gruppe möglicherweise auch von individuellen Intelligenzleistungen profitiert. Wirkliche Schwarmintelligenz beginnt jedoch erst da, wo eine kognitive Gruppenleistung über das Vermögen des Einzelnen hinausgeht.

Ein Beispiel dafür stellen die Navigationsmechanismen von Tiergruppen dar (Grünbaum 1998, Simons 2004). Zugvögel verwenden z.B. zahlreiche Kriterien, um die Flugrichtung zu bestimmen. Jedes Einzeltier macht dabei jedoch Fehler, die durch ungenaue Wahrnehmung aber auch durch externe Faktoren wie z.B. Schwankungen des Erdmagnetfeldes oder starken Wind verursacht werden können. Vieles deutet darauf hin, dass diese Fehler durch die Regeln, denen die Bewegung in der Gruppe folgt, kompensiert werden können, so dass ein Schwarm seine Flugroute sehr viel exakter einhalten kann als es einem Einzeltier möglich wäre.

Anwendung auf menschliche Bereiche

Das Problem, in einem nicht vollständig erfassbaren Umfeld Richtungsbestimmungen vorzunehmen, lässt sich auch auf menschliche Anwendungsbereiche übertragen. Wenn es z.B. darum geht, gesellschaftliche Trends zu erfassen, dann können einzelne Menschen Einschätzungen von bestimmten Entwicklungen abgeben, die jedoch stets mit einem (mehr oder weniger großen) Fehler behaftet sind. Durch geeignetes Zusammenführen vieler Einzeleinschätzungen lassen sich in zahlreichen Fällen Gesamtbilder erstellen, die genauer sind als die Einschätzungen einzelner Experten.

In kommerziellen Bereichen lassen sich bereits Anwendungen finden. So betreiben verschiedene Firmen seit einigen Jahren für ihre Produkte unter der Bezeichnung "User Driven Innovation" Internetplattformen, auf denen Benutzer diskutieren, Erfahrungen austauschen und insbesondere im Design eigenständige Entwicklungen durchführen können. Einzelne Benutzer entwickeln dabei neue Ideen, die sich, wenn sie gut sind, in der User Community durchsetzen und von den Firmen genutzt werden können. Hierbei wird Kreativität gewissermaßen in marktrelevante Bahnen geleitet.

Die Beobachtung, dass eine Gruppe von "Laien" zu besseren Ergebnissen gelangen kann als einzelne "Experten", hat viele Leute zu der Annahme verleitet, dass die Gesellschaft der Zukunft von rein selbst organisierten, expertenfreien Strukturen geprägt sein wird. Eine Annahme, die nicht sehr realistisch erscheint.

Möglichkeiten, Grenzen und Schwierigkeiten

Nicht alle Probleme, mit denen wir es in der Welt zu tun haben, stellen gute Anwendungsfälle für Schwarmintelligenz dar. Wäre dies so, dann hätten sich vermutlich keine Lebewesen mit hoher individueller Intelligenz entwickelt. Vielleicht sollte Schwarmintelligenz eher als ein Hilfsmittel betrachtet werden, das man nutzbringend einsetzen kann, wenn die Komplexität eines Problems die individuelle Intelligenz der mit dem Problem befassten Individuen deutlich überfordert. Eine Situation, der Insekten tagtäglich ausgesetzt sind, der aber auch wir als Menschen in einer komplexer werdenden Welt immer häufiger begegnen. Der große Erfahrungsschatz, das spezielle Fachwissen und die analytischen Fähigkeiten Einzelner werden jedoch weiterhin unentbehrlich bleiben.

Eine wichtige Eigenschaft der Schwarmintelligenz ist in diesem Zusammenhang ihre Robustheit, die gleichzeitig eine Stärke aber auch eine Schwäche darstellt. Im Vergleich zu den Verfahren, die beispielsweise in der Informatik entwickelt wurden, lösen Tiergruppen komplexe Probleme meistens ziemlich langsam. Dafür ist jedoch die Unempfindlichkeit der Schwarmintelligenz gegenüber schwierig kalkulierbaren Risiken sehr groß, denn Fehler Einzelner haben geringe Auswirkungen auf das Gesamtergebnis der Gruppe. Das macht ihre Anwendung in unübersichtlichen, vielen Einflüssen unterworfenen Umfeldern interessant. Umgekehrt wird durch die unvermeidliche Trägheit der Gruppe das gezielte Abweichen von traditionellen und vielleicht nicht mehr zeitgemäßen Verhaltensmustern erschwert. Wunder sind also nicht zu erwarten. Vielmehr wird es bei der Anwendung von Prinzipien der Schwarmintelligenz auf die richtige Dosierung ankommen.

Bereits die simple Frage, ob ein Problem ein geeigneter Kandidat für Schwarmintelligenz ist oder nicht, kann eine schwierige Angelegenheit sein. Menschliche Intuition und Vorstellungskraft scheinen hier oft zu versagen, was sich in dem häufig als Beschreibung des Phänomens herangezogenen Satz "Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile" manifestiert. Wissenschaftlich gesehen, verstellt dieser Satz den Blick auf das Wesentliche: Teile eines komplexen Systems sind eben nicht nur die direkt beobachtbaren, isolierten Objekte, sondern auch ihre Beziehungen, Wechselwirkungen oder Interaktionen. Erst aus allem zusammen entsteht das System. Wenn man dies bei der Bildung der "Summe" ignoriert, ergibt sich natürlich weniger als das Ganze. Da Beziehungen zwischen Objekten für das bloße Auge häufig unsichtbar sind, werden sie leicht übersehen. In technischen Disziplinen, in denen man es gewohnt ist, mit unsichtbaren Dingen zu hantieren, wie z.B. der Software-Technik, betrachtet man Beziehungen zwischen Objekten zwar bereits seit langem als integrale Bestandteile von Systemen. Aus den Bestandteilen eines Systems sein Verhalten und seine Wirkung abzuleiten, bleibt jedoch weiterhin eine gewaltige wissenschaftliche Herausforderung.

Ein Experiment

Im Sommer dieses Jahres veranstaltete die Stiftung Brandenburger Tor in Berlin eine Ausstellung über Bionik, bei der auch das Thema "Schwarmintelligenz" behandelt wurde (Krause & Krause 2008). Im Rahmen dieser Ausstellung hatte der Autor die Gelegenheit mit Hilfe eines Exponats ein Experiment durchzuführen, das den unterschiedlichen Charakter von Problemen im Hinblick auf die Nutzbarkeit von Schwarmintelligenz demonstrieren sollte. Dabei wurden den Ausstellungsbesuchern an einem Computer zwei Fragen gestellt und die Antworten über einen Touchscreen entgegengenommen. Auf der einen Seite war dies eine ideale Gelegenheit, eine große Menge von Menschen in ein Experiment einzubeziehen, von denen den meisten sicherlich eine gewisse Ernsthaftigkeit unterstellt werden durfte (immerhin mussten sie ja Eintrittsgeld für die Ausstellung zahlen). Auf der anderen Seite hat der notwendige "Exponatscharakter" des Experiments leider keine einfache Grundlage für eine Auswertung gelegt. Hier sind vor allem drei potentielle Problempunkte zu nennen: 1. Die

Besucher wurden nicht daran gehindert, die Fragen mehrfach zu beantworten oder zu beobachten, wie andere die Fragen beantworten. 2. Der Bereich der möglichen Antworten war auf annähernd plausible Antworten eingeschränkt. 3. Die Besucher bekamen eine Rückmeldung, die Rückschlüsse auf den Grad der Richtigkeit ihrer Antworten zuließ. Keine idealen Bedingungen also, dennoch aber ein lohnendes Experiment.

Es mag auf den ersten Blick vielleicht verwundern, in einer Ausstellung über Bionik einen Beitrag zum Thema Schwarmintelligenz zu finden. Der Blick in die Natur kann aber, wie eingangs erwähnt, sehr hilfreich sein, um erfolgreiche Anwendungen von Schwarmintelligenz ausfindig zu machen, die ihr zugrunde liegenden Voraussetzungen zu ermitteln und die in ihr wirksam werdenden Interaktionen und Mechanismen zu erkunden. Durch Analyse der einzelnen Aspekte ist es Menschen im Gegensatz zu Tieren möglich, Schwarmintelligenz gezielt zur Anwendung zu bringen, indem bestimmte als nutzbringend erkannte Mechanismen auf Szenarien angewendet werden, die ein gewisses Schwarmintelligenzpotential beinhalten.

Ein besonders einfacher und häufig angewendeter "Mechanismus" besteht darin, den arithmetischen Mittelwert aus den in numerische Form gebrachten Einzelmeinungen zu bilden. Dahinter steckt die Annahme, dass die einzelnen Werte mit einem zufällig verteilten Fehler behaftet sind, so dass sie um einen gemeinsamen Mittelwert herum streuen, der in etwa dem richtigen Wert entspricht. Die beiden Fragen für das Experiment wurden deshalb der Einfachheit halber als Schätzfragen formuliert, auf die mit Zahlenwerten geantwortet werden musste.

Die erste der beiden Fragen war so konzipiert, dass die Antworten der Besucher ein möglichst großes Potenzial für Schwarmintelligenz beinhalten. Den Besuchern wurde ein Glasgefäß voller Murmeln präsentiert (siehe Abbildung 1), deren Anzahl sie schätzen sollten. Die richtige Antwort lautete 562.



Abb. 1: Das Glasgefäß mit den Murmeln für die erste Schätzaufgabe in der Berliner Bionik-Ausstellung

Die zweite Frage war dazu gedacht, das Scheitern der Schwarmintelligenz zu demonstrieren. Sie lautete: "Angenommen, jemand wettet darauf, dass eine Münze, die mehrmals geworfen wird, jedes Mal, Kopf' zeigt. Wie oft muss die Münze geworfen werden, damit die Gewinnchance für diese Wette ungefähr so groß ist wie für 6 Richtige im Lotto?". Hier lautete die richtige Antwort 24.

Die beiden Fragen besitzen offensichtlich unterschiedlichen Charakter. Während bei Frage 1 wohl niemand mit Gewissheit eine exakt richtige Antwort geben kann, lässt sich die richtige Antwort auf Frage 2 mit ein wenig Fachwissen ausrechnen. Dennoch gibt es einen fließenden Übergang. Durch Einsatz von Fachwissen lässt sich für Frage 1 ein ziemlich gutes Ergebnis erzielen, in dem man z.B. das Produkt der geschätzten Anzahlen der Schichten und der Murmeln pro Schicht bildet. Auf dem Foto in Abbildung 1 lassen sich ungefähr 13 Schichten erkennen, und im mittleren Bereich des Gefäßes befinden sich nebeneinander ca. 6½ Murmeln. Das Produkt 13 mal (6½)² ergibt 549, einen Wert, der nur um 2,3% vom richtigen Wert abweicht. Umgekehrt kann auch Frage 2 die Form einer Schätzaufgabe annehmen, wenn man z.B. die genaue Gewinn-

wahrscheinlichkeit für 6 Richtige nicht mehr im Kopf hat und nur noch weiß, dass es eins zu ein paar Millionen ist. Da die Wahrscheinlichkeit für eine Folge von n-mal Kopf hintereinander den Wert 1/2ⁿ besitzt, und da 2¹⁰ ungefähr eintausend, 2²⁰ demnach ungefähr eine Million und 20³⁰ ungefähr eine Milliarde ist, lässt sich ableiten, dass n zwischen 20 und 30 liegen muss.

Zweifellos hat "Expertenwissen" bei Frage 2 einen größeren Nutzen als bei Frage 1. Man erwartet deshalb ein weit geringeres Schwarmintelligenzpotential in den Schätzwerten zu Frage 2 als in denen zu Frage 1.

Eine grobe Auswertung

Als Grundlage für die Auswertung der Schätzwerte wurden aus der Menge aller Eingaben diejenigen herausgestrichen, die einen Zeitabstand von weniger als 120 Sekunden von den vorangegangenen Eingaben hatten. Damit sollte erreicht werden, dass eine Menge unabhängiger Schätzwerte zur Verfügung steht, bei der z.B. Mehrfacheingaben derselben Person oder derselben Gruppe weitestgehend ausgeschlossen sind. Die Anzahl der Schätzwerte sank durch diese Maßnahme um 68%. Aus den verbleibenden Daten wurden dann die Mittelwerte berechnet.

Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Ergebnisse einer ersten groben Auswertung. Die im vorangegangenen Abschnitt genannten Erwartungen bestätigen sich hier überraschend deutlich. Während der Mittelwert der Schätzungen für Frage 1 dem richtigen Wert ziemlich nahe kommt, liegt er für Frage 2 hoffnungslos daneben. Der Prozentsatz der Schätzwerte, die besser waren als der Mittelwert (genauer: deren absolute Abweichung vom korrekten Wert kleiner war als die des Mittelwerts), ist ein Indiz für das Vorhandensein bzw. das Fehlen von Schwarmintelligenzpotential. Bei Frage 1 genügt der einfache Mechanismus der Bildung des arithmetischen Mittels, um ein Ergebnis zu produzieren, das nur von 7,9% aller Besucher übertroffen wurde. Bei Frage 2 hingegen lässt sich aus den Schätzwerten zumindest durch Mittelwertbildung keinerlei Nutzen ziehen. Eine zufällig ausgewählte Einzelschätzung liefert mit hoher Wahrscheinlichkeit ein besseres Ergebnis.

		Korrekter Wert	Anzahl der Schätzwerte	Mittelwert	Fehler	Besser als Mittelwert
	Frage 1	562	2158	551,7	1,8%	7,9%
ĺ	Frage 2	24	2047	1189,5	4856,3%	81,2%

Tabelle 1: Grobe Ergebnisse der Auswertung von ca. 2100 Schätzwerten für jede der beiden Fragen. Der unterschiedliche Charakter der Fragen zeigt sich deutlich in den beidenletzten Spalten

Zur Illustration der Annäherung an einen Mittelwert sind in den Abbildungen 2a und 2b die Schätzwerte mit 120 Sekunden Mindestabstand und der laufende Mittelwert für die beiden Fragen an einem typischen Ausstellungstag dargestellt.

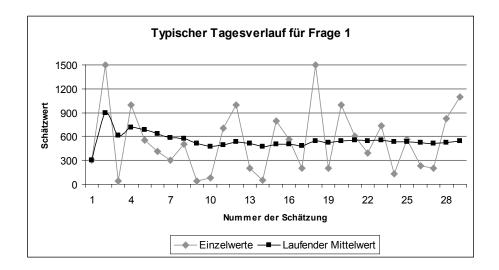


Abb. 2a: Eine Folge von Schätzwerten, wie sie an einem typischen Ausstellungstag für die erste Frage eingegeben wurde. Die Streuung der Werte ist zwar nicht unerheblich, der Mittelwert nähert sich dem richtigen Wert (562) aber erstaunlich schnell an.

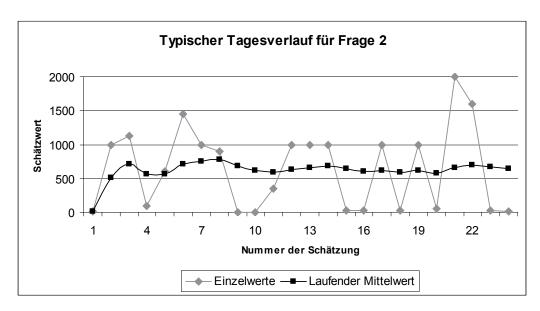


Abb. 2b: Eine Folge von Schätzwerten, wie sie an einem typischen Ausstellungstag für die zweite Frage eingegeben wurde. Die Streuung der Schätzwerte ist extrem groß. Zahlreiche viel zu hohe Werte wurden angegeben. Gelegentliche gute Schätzwerte von möglichen "Experten" können den Mittelwert nicht retten. Er stabilisiert sich hoffnungslos weit vom richtigen Wert (24) entfernt.

Eine detaillierte Auswertung, die bisher noch nicht möglich war, da die Daten erst seit kurzem vorliegen, wird vielleicht weitere interessante Erkenntnisse bringen.

Ein kleiner Ausblick

Um weiteren Nutzen aus der Schwarmintelligenz ziehen zu können, dürfte es nötig sein, für dieses Gebiet eine solide Grundlage zu schaffen. Dazu müssten zunächst die dafür relevanten Ergebnisse aus verschiedenen Disziplinen zusammengeführt und auf eine einheitliche Basis gestellt werden. Darüber hinaus wird es erforderlich sein, weitere Erkenntnisse über die Merkmale lohnender und weniger lohnender Anwendungsfelder zu gewinnen.

Die beiden oben beschriebenen experimentellen Fragen sind zugegebener Maßen ein wenig zu konstruiert, um die Ergebnisse ohne weiteres auf die "wirkliche Welt" hochrechnen zu können. Interessant wäre ein Experiment, bei dem die Entscheidungen einer realen Organisation durch Kombinieren von vielen Einzelmeinungen gefällt werden. Das mag riskant klingen, wird aber bereits praktiziert: Der englische Fußballverein Ebbsfleet United (http://www.myfootballclub. co.uk) gehört seinen über 30.000 Mitgliedern, die dessen Spielerzusammensetzung kollektiv entscheiden. Ob die bislang erzielten Erfolge allerdings der Schwarmintelligenz zu verdanken sind oder ob es nur vorübergehende Erscheinungen waren, wird sich erst mittelfristig erweisen. Das Modell ist jedenfalls reizvoll und hat in Deutschland im Fußballverein Fortuna Köln bereits einen Nachahmer gefunden (http://www.deinfussballclub.com). Die Zukunft wird zeigen, ob es sich um ein Erfolgsmodell handelt. Francis Galton hätte das Schicksal dieser Vereine bestimmt mit großem Interesse verfolgt.

Danksagung

Mein Dank gilt Jens Krause, der wesentlich an der Entwicklung der hier beschriebenen Gedanken beteiligt war. Weiterhin danke ich Hans Timmermann, ohne dessen Hilfe die rechtzeitige Fertigstellung der Software für das Experiment nicht möglich gewesen wäre, und Marcus Peter, dessen Engagement bei der Organisation der Ausstellung die Durchführung des Experiments überhaupt erst möglich gemacht hat und der mich bei der Formulierung der Fragen für das Experiment unterstützt hat.

Literatur

Surowiecki, James (2004). The wisdom of crowds: why the many are smarter than the few. New York, Little Brown. Galton, Francis (1907). Vox populi. Nature 75: 450-451.

Grünbaum, Daniel (1998). Schooling as a strategy for taxis in a noisy environment. Evolutionary Ecology 12: 503-522.

Simons, Andrew M. (2004). Many wrongs: the advantage of group navigation. Trends in Ecology and Evolution, 19, 453-455.

Krause, Stefan und Krause, Jens (2008). Ins Schwärmen geraten. Beitrag zum Katalog der Ausstellung "Prototypen - Bionik und der Blick auf die Natur" der Stiftung Brandenburger Tor im Sommer 2008.

Schlüsselkompetenzen in der Personalentwicklung Lernen mit neuen Medien

Annegret Reski / Stefan Goes

(Der Artikel ist ein leicht veränderter Auszug aus einem Vortrag von Annegret Reski und Stefan Goes auf der Tagung: "Horizonte 2007" in Berlin)

Kurzfassung

Max Frisch konnte in den 60er Jahren noch berechtigt sagen, dass die Unternehmen Arbeitskräfte riefen und sich beklagten, wenn Menschen kamen. Heute wird bereits bei der Personalauswahl verstärkt auf das Vorhandensein von fachübergreifenden Fähigkeiten und persönlichen Entwicklungspotenzialen geachtet.

Die rasante Geschwindigkeit von Wissenszuwachs und technologischer Innovation erfordern überfachliche Kompetenzen. Sie werden zur Voraussetzung beruflichen Erfolges. Das Konzept der Schlüsselkompetenzen passt in diese Entwicklung. Die Landschaft der Schlüsselkompetenzen ist unübersichtlich. Trotzdem erfreut sie sich zunehmender Beliebtheit in Wissenschaft und Praxis. Schlüsselkompetenzen öffnen die Tür zum kompetenten Einsatz der eigenen Fachkompetenz in der Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen und zum persönlichen Erfolg im ausgewählten Unternehmen. Schlüsselkompetenz wird hier verstanden als persönliche Handlungsfähigkeit. Erlernbare Verhaltensmerkmale befähigen zur Bewältigung von gegenwärtigen und zukünftigen beruflichen Anforderungen. Sie sind akzeptierter Bestandteil der Anforderungsprofile, die die Grundlage von Personalauswahl und Karriereplanung ausmachen.

Die Vermittlung fachübergreifender Fähigkeiten und damit von Schlüsselkompetenzen gewinnt somit zunehmend an Bedeutung.

- In praxisorientierten Studiengängen als Berufsvorbereitung
- In Unternehmen als Weiterbildungs- und Entwicklungsmaßnahme

Neue Wege der Vermittlung deuten sich in Blended learning Konzepten an. Sie verbinden Präsenzlehre mit E-learning Anteilen. Ihr Einsatz flexibilisiert und effektiviert Lernprozesse an Hochschulen und in Unternehmen auch für den Bereich Schlüsselkompetenzen. Voraussetzung ist die Berücksichtigung von methodisch-didaktischen Prämissen.

Personalentwicklung und Schlüsselkompetenzen

Personalentwicklung (PE) beinhaltet sämtliche Maßnahmen zur systematischen Förderung beruflich relevanter Kenntnisse, Fertigkeiten und Einstellungen durch Maßnahmen der Weiterbildung, der Beratung oder der Arbeitsgestaltung.

Nachdem jahrelang die Budgets für PE gekürzt und eingefroren worden sind, kommen wir im Augenblick in eine Phase, in der die Entwicklung von Kompetenz bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wieder in den Fokus genommen wird.

Unternehmen reagieren in ihrem Einstellungsverhalten auf veränderte gesellschaftliche Rahmenbedingungen und Herausforderungen.

Als große Trends wirken vor allem

- · die Auswirkungen der Globalisierung
- · die Folgen des demographischen Wandels
- · multikulturelles Personalmanagement

Die persönlichen und methodischen Anforderungen an Fach- und Führungskräfte steigen überproportional. Globales Denken ist gefordert.. Internationale Zusammenarbeit wird zur Selbstverständlichkeit. Personalmanagement vereint die globalen Visionen und Strategien des Unternehmens mit den regionalen Bedürfnissen und Stärken. Die Entwicklung einer weltoffenen und lernfähigen Unternehmenskultur ist darin ein Schritt. Die Einstellung persönlich kompetenter und lernfähiger Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein weiterer.

Unternehmen entwickeln verbesserte Auswahlverfahren. Karrieren werden nicht mehr von der Dauer der Betriebszugehörigkeit bestimmt, sondern potenzialorientiert ausgerichtet. Während das aktuelle fachliche Know how leicht über anerkannte Tests zu erfassen ist, bleibt die Einschätzung des Verhaltensrepertoires und Potenzials nach wie vor schwierig.

Fehleinschätzungen sind teuer und unerwünscht. Potenzialbeurteilung beginnt deshalb mit der Bewerbung. Fachliche Eignung und Passung wird eingeschätzt, aber auch Potenziale, Wünsche, Vorstellungen, Stärken, Schwächen und Entwicklungsmöglichkeiten.

Hier setzt das Konzept der "Schlüsselkompetenzen" an.

Das Konzept ist ungefähr so alt wie die Einsicht, dass Wissen immer schneller veraltet, Produkte und Verfahren angeglichen werden können und Mitarbeiter innen und Mitarbeiter wesentlich zum Unternehmenserfolg beitragen. Der Mensch als wichtigste Ressource...

"Schlüsselqualifikationen" wurden in den 70er Jahren von Martens (1974) als Begriff eingeführt. Sie bezeichnen überfachliche Kompetenzen, die im Arbeitsleben und Privatleben hilfreich eingesetzt werden können. Sie liefern ein persönliches Repertoire zum Umgang mit Anforderungen unterschiedlichster Art.

Dabei sollten Persönlichkeitseigenschaften und Schlüsselkompetenzen schon deshalb grundlegend unterschieden werden, weil Schlüsselkompetenzen erlernbar und veränderbar sind. Das macht sie zum wichtigen Baustein in der Personalentwicklung.

Ziel des Konzeptes der Schlüsselkompetenzen ist es, eine allgemeine Handlungskompetenz zu beschreiben, die beruflichen Erfolg und Entwicklungen determiniert.

Dabei dehnen einige Autoren wie z.B. Eilles-Matthiessen u.a. ("Schlüsselqualifikation kompakt", Bern 2007) die Anwendung und Auswirkungen von Schlüsselkompetenzen auch auf das Privatleben aus. Schlüsselkompetenzen werden hier als Fähigkeiten gesehen, mit denen zukünftige Arbeits- und Lebenssituationen bewältigt werden können.

Schlüsselkompetenzen sind keine Alternative zum Fachwissen. Sie sind eine notwendige Ergänzung. Sie bereichern die berufliche Handlungskompetenz durch die Fähigkeit des bewussten zielorientierten Umganges mit sachlichen und persönlichen Themen.

Die Qualifikationen, die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen befähigen, die Situationen am Arbeitsplatz zu meistern, lassen sich unterschiedlich klassifizieren.

Am geläufigsten ist die Vierteilung:

- Fachkompetenz: spezifische am Arbeitsplatz notwendige Kenntnisse und Fertigkeiten zur Erledigung fest umrissener Aufgaben wie z.B. Fremdsprachenkenntnisse
- Methodenkompetenz: Planungs- und Entscheidungsfähigkeiten, die zur selbstständigen Lösung neuartiger komplexer Probleme eingesetzt werden können
- Sozialkompetenz: kommunikative und kooperative Fähigkeiten und Fertigkeiten, die zur Realisierung individueller und gemeinsamer Ziele befähigen wie z.B. Kommunikationsfähigkeit
- Persönlichkeitskompetenz: Persönliche Einstellungen, Motive und Wertvorstellungen, die die berufliche Selbstreflexion und die emotionale Steuerung des beruflichen Handelns beeinflussen.

Wie zukünftige Anforderungen aussehen werden, bleibt ungewiss. Gerade diese Ungewissheit ist ein Bestandteil des Konzeptes "Schlüsselkompetenzen". denn es geht vor allem auch um zukünftige, jetzt noch nicht genau vorhersagbare Herausforderungen und notwendige Handlungskompetenz.

Klar und unbestritten ist aber, dass überfachliche Kompetenzen notwendig werden wie auch aus dem Zitat von Senge deutlich wird:

"Die meisten herausragenden Führungskräfte, mit denen ich zusammengearbeitet habe, sind weder hoch gewachsen noch ausgesprochen attraktiv. Häufig sind es mittelmäßige Redner; sie fallen der Menge nicht auf; sie fesseln ein Publikum nicht mit ihrem messerscharfen Verstand oder ihrer Eloquenz. Was sie vielmehr heraushebt, ist die Klarheit und Überzeugungskraft ihrer Ideen, die Tiefe ihres Engagements und die Offenheit, ständig etwas Neues zu lernen. Sie haben nicht "die Antwort". Aber sie vermitteln anderen Menschen die Zuversicht, dass "wir gemeinsam alles lernen können, was wir lernen müssen, um die Ergebnisse zu erreichen, die wir anstreben". Was diese Menschen zu geborenen Anführern macht, ist meiner Ansicht nach das Nebenprodukt einer lebenslangen Anstrengung – sie bemühen sich, ihre Denk- und Kommunikationsfähigkeiten beständig weiterzuentwickeln, über persönliche Werte nachzudenken und das eigene Verhalten mit diesen Werten in Einklang zu bringen; sie lernen zuzuhören und andere Menschen und ihre Ideen ernst zu nehmen."

(Senge: Die 5. Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation, Klett – Cotta, S. 435 / vgl. auch Jim Collins 2001, Good to Great: Der "level 5 leader" zeichnet sich jenseits des charismatischen "Machertyps" durch die o. g. Handlungsweisen und vor allem das Zurückstellen der persönlichen Eitelkeiten und Ziele hinter die des Gesamtunternehmens aus.)

Die Förderung herausragender Persönlichkeiten ist also nicht das Thema. Die Förderung von Schlüsselkompetenzen kann aber die Fähigkeit zur Selbstreflexion stärken und die Entwicklung persönlicher Wertvorstellungen unterstützen. Methoden und Instrumente können dazu dienen, diese Werthaltungen zu erfahren, persönlich umzusetzen und die Absicht zu entwickeln, sie in betriebliche Aktionspläne umzusetzen.

Das ist der Beitrag von Schlüsselkompetenzen zur Ausbildung künftiger Fach- und Führungskräfte.

Die Vermittlung von Schlüsselkompetenzen ist ein prozesshaftes Angebot zur Selbstentwicklung. Das geschieht innerhalb eines offenen und lebendigen Systems. Wenn die Vermittlung primär auf Werthaltungen und Kompetenzstärkung liegt, dann kann hier der Motor für Veränderungen von Organisationen und Führungskulturen gestartet werden. So wird die Praxisrelevanz der vermittelten Kompetenzen gesichert.

Netzbasierte Personalentwicklung

(Einen guten Überblick bietet Katrin Allmendinger, "Aufgabenorientierte Personalentwicklung: Konstruktivistische und computerbasierte Ansätze" in Ryschka u. a. Praxishandbuch Personalentwicklung 2005)

E-Learning ist der inzwischen meist verwendete Begriff für computer- und netzbasierte Personalentwicklung. Sie hat mittlerweile in viele Organisationen und Unternehmen Einzug gehalten.

Drei Konzepte sind dabei zu unterscheiden:

- 1. Computer-Based Training (CBT) ist seit ca. 1980 auf dem Weiterbildungsmarkt. Lernprogramme werden meist selbst organisiert und ohne tutorielle Begleitung durchgeführt.
- 2. Web-Based Training (WBT) Das Lernen findet über das Internet oder das Intranet statt. Die Lernenden greifen auf einen Server zu, auf dem die Lerninhalte gespeichert sind.
- 3. Blended Learning: Eine Kombination von CBT bzw. WBT mit Präsenzveranstaltungen.

Die neuen Möglichkeiten in diesen Konzepten liegen aus didaktischer Sicht in

- · der Entlastung der Präsenz von Basisinformationen
- Flexibilisierung und Effektivierung des Lerntempos und der Lerntiefe
- Sicherung des Lerntransfers nach der Präsenzveranstaltung

E-Learning Konzepte sind weitgehend akzeptiert für Wissensvermittlung und Fachkompetenzsteigerung.

Selbstmanagement - Kommunikation - Führungskompetenz über das Netz erwerben? Das ruft allerdings Kopfschütteln hervor, weil scheinbar der persönliche Kick nicht dabei ist. Blended Learning Konzepte bieten aber auch für diesen sehr persönlichen Lernbereich eine Alternative zu zeitaufwendigen Präsenzseminaren.

Mindestanforderungen sind:

- Das didaktische Konzept umfasst online Phasen und Präsenzworkshops.
- In den online Phasen wechselt die individuelle Aneignung von Lerninhalten mit Diskussionen und kooperativen Prozessen.
- Fallbeispiele sind praxisorientiert und nahe am möglichen Arbeitsalltag.
- Verschiedene Kommunikationsmedien können genutzt werden wie z.B. Chat, Foren, e-mails.
- Die Lernenden gestalten ihren Lernprozess mit.
- Der Lernprozess wird begleitet, Zielorientierung thematisiert.

Online Weiterbildungsmodule für Schlüsselkompetenzen

Das gemeinsame Interesse an der Umsetzung der Prinzipien für erfolgreiche Blended Learning Konzepte war ein Ausgangspunkt der Zusammenarbeit von Dr. Sonja Beer, Dr. Stefan Goes und Prof. Annegret Reski.

Verbindend wirkt der gemeinsame Blick auf Kommunikations- und Entwicklungsprozesse vor sprachwissenschaftlichem Hintergrund. Bereichernd für die Zusammenarbeit gestaltet sich das Zusammenfügen der unterschiedlichen Perspektiven, die sich aus den Erfahrungen der Autoren in Medienarbeit und Koordinieren virtueller Arbeitsgruppen, Unternehmensberatung und Hochschule ergeben. In Zusammenarbeit mit oncampus haben die drei Autoren fünf Studienmodule entwickelt. Sie bilden wichtige Schlüsselkompetenzen ab und sind als Blended Learning Konzepte im Hochschul- und Unternehmensbereich einsetzbar.

Ziel der Gestaltung ist

- die weiterführende und breit zugängliche Beschäftigung mit Schlüsselkompetenzen zu unterstützen,
- · neue Medien gerade bei diesem wichtigen Bereich mit einzubeziehen,
- · Lernprozesse auch in diesem Bereich zu effektivieren,
- · die motivierende und nachhaltige Wirkung dieser Lernkonzepte zu erproben,
- finanzielle, zeitliche und personelle Ressourcen flexibel und kostensparend einzusetzen,
- Lernende aus vielfältigen Lebens- und Arbeitskontexten zusammen zu bringen.

Entwickelt wurden mit verschiedenen didaktischen Schwerpunkten die Module:

Selbstmanagement

Das Modul "Selbstmanagement" ist stark reflexionsorientiert. Die Teilnehmenden bekommen Anregungen und Hinweise zur Selbstanalyse. Hier wird Feedback geholt, genommen und gegeben. Insgesamt steht aber nicht der Interaktionsaspekt im Vordergrund sondern die persönliche Reflexion. Sie wird dann auch als Basis für den Präsenztag wichtig.

Kommunikation

Das Modul "Kommunikation" nimmt den Ablauf eines Kommunikationsseminars als Roten Faden. Die Lerninhalte können so virtuell nachvollzogen werden. Das ergänzende Präsenzseminar entlastet sich so stark von theoretischen Inhalten.

Kreativität

Das Modul "Kreativität" bietet einen Schnellkurs in Kreativitätstechniken. Es ist sehr ideenreich gestaltet und macht Spaß in der Anwendung. Es regt an zum Ausprobieren und Anwenden. Das Modul verdeutlicht die Einsatzmöglichkeiten neuer Medien in selbst bestimmten Lernprozessen.

Führung 1 und 2

Die Module "Führung 1 und 2" handeln konsequent in einem fiktiven Unternehmen. Simulierte praxisgerechte Fälle sind zu diskutieren und zu entscheiden. Theoretisches Hintergrundwissen kann über eine zur Verfügung gestellte virtuelle Bibliothek erworben werden. Mit den simulierten Fällen und den damit verknüpften Aufgaben werden vielschichtige Perspektiven eingenommen.

Bisheriges Fazit zur netzbasierten Vermittlung von Schlüsselkompetenzen:

Didaktisches Konzept

Die netzbasierte Vermittlung von Schlüsselkompetenzen ist wirkungsvoll, wenn die Einbindung in ein didaktisches Gesamtkonzept vorliegt. (Die Module Kommunikation, Selbstmanagement und Führung basieren sehr stark auf dem von Annegret Reski entwickelten Präsenzcurriculum "Führung und Selbstmanagement" an der FH Lübeck und dem dreigliedrigen Curriculum für Nachwuchsführungskräfte von Stefan Goes.) Ohne Gesamtkonzept werden die Möglichkeiten der Teilnahme an einer soft skill online-Veranstaltung nicht genutzt. Das Gießkannenprinzip ist hier wie auch in der betrieblichen Personalentwicklung nicht effektiv und zeitgemäß.

Mentorielle Begleitung

Die Mentorin oder der Mentor übernimmt die Begleitung des Moduls. Ihm kommt eine zentrale Bedeutung im Lernprozess zu. Hier ist die zentrale Anlaufstation für formale, technische und inhaltliche Fragen.

Mentoren sollten deshalb sowohl mit den Bedingungen als auch mit dem Modul sehr gut vertraut sein. (Bei unseren Führungsmodulen 1 und 2 lag sowohl die technische und gestalterische Entwicklung als auch die Begleitung als Mentorin bei Frau Jana Mittag von oncampus. Diese Kombination ist ideal und trägt wesentlich zu dem Erfolg der Lerngestaltung bei)

- Zu Beginn liegt die Mentorenaufgabe überwiegend in der technischen Unterstützung. Den Teilnehmenden wird der Zugang zu dem Lernstoff ermöglicht. Das erfordert Geduld und individuelle Beratung bei dem Einstieg und erforderlichen Problemlösungen.
- Inhaltliche Zielorientierung und individuelle Begleitung in den Lernprozess, Erläuterung der Lernschritte und ein individuelles Heranführen an den selbstständigen Umgang mit dem Modul bilden den 2. Schritt.
- Dem individuellen Lernprozess und dem selbst gesteuerten Lernen wird im weiteren Verlauf des Moduls zunehmend mehr Raum gegeben, die Mentorin kann sich langsam zurückziehen.

Prinzip der Authentizität

Didaktisch und fachlich kompetente Autorinnen oder Autoren konzipieren die Module. Voraussetzung sollte Erfahrung in der aktiven Gestaltung von Präsenzseminaren sein und Erfahrungen mit der Zielgruppe. So können real mögliche Situationen aus dem Anwendungsbereich des Lernstoffes einbezogen und realistisch abgebildet werden.

Prinzip der Vielfalt

Durch die starke Ausrichtung an Praxisfällen werden unterschiedliche Perspektiven eingenommen. Damit können Kompetenzen und Wissen der Teilnehmenden in die kooperative Bearbeitung von Aufgabenstellungen integriert werden. In den Chats und Foren geht es dann oft nicht um eine richtige oder falsche Bewertung von Zusammenhängen, sondern um die Bereicherung mit unterschiedlichen Perspektiven. Hierbei sind bei dem Führungsthema unterschiedliche Branchen, unterschiedliche Größen von Arbeitgebern sowie verschiedene Altersgruppen und Erfahrungen bereichernd und weiterführend.

Prinzip der Aktivität

Die Lernenden gestalten den Lernprozess aktiv mit, indem sie die Entscheidungsfälle (Konflikt Führungskraft und Team) und Gestaltungsaufgaben (z.B. Entwurf eines Anforderungsprofils für Nachwuchsführungskräfte) individuell bearbeiten und dann im Forum oder Chat gemeinsam diskutieren.

Prinzip der Unabhängigkeit von formellen Lernzeiten

Die Fixierung auf Seminarzeiten und Trainingstage wird aufgehoben und Lösungen werden dann erbracht, wenn individuell die Zeit vorhanden ist (auch nachts). Das Angebot von regelmäßigen Chatterminen wird gern angenommen, um eine gemeinsame Ausrichtung zu finden und um Kontakt mit den anderen Teilnehmenden aufzubauen.

Präsenzveranstaltung

Gewünscht wird oft eine Präsenz zu Beginn der E-learning Veranstaltung. Der Einstieg der Teilnehmenden wird dadurch erleichtert und inhaltlich werden schneller persönliche Themen und Fragestellungen angesprochen. Sollte eine solche Anfangspräsenz nicht möglich sein, empfiehlt sich zumindest eine virtuelle Vorstellungsrunde. Die Präsenzveranstaltung kann dann nach den ersten Inhalten und Fallbesprechungen durchgeführt werden. Sie gibt die Möglichkeit des Trainierens von vermittelten Methoden und ermöglicht auch persönliche Fragestellungen einzubringen, die in den Themenbereich gehören aber über den Lernstoff hinausgehen. Die Präsenz sollte nicht zu spät positioniert werden, um die positiven Auswirkungen des persönlichen Kennenlernens für den restlichen Lernstoff nutzen zu können.

Fazit:

Die didaktischen Möglichkeiten von Blended learning Konzepten können auch für Schlüsselkompetenzen genutzt werden:

- Präsenzveranstaltungen werden von Basisinformationen entlastet und haben dadurch einen erhöhten Übungsanteil. Sie machen auch deutlich, wie weit der Lernstoff verstanden ist und angewendet werden kann
- Lerntempo und Lernzeit werden flexibilisiert, das zeigen die Zeiten der Forenbeiträge. Lerntiefe ist sehr unterschiedlich, was die Fragen und Anmerkungen deutlich machen.
- Präsenzveranstaltungen ermöglichen Lerntransfer, der online begleitet werden kann. Hier sind Dozenten gefordert oder im außerakademischen Bereich ggf. auch die Führungskraft.

Die gemachten Erfahrungen und das aus der Konzeption und Betreuung der online-Kurse gewonnene Wissen des Autorenteams werden in die Präsenzlehre der FH Lübeck einfließen. Eine Umsetzung für den außerakademischen Bereich ist vorgesehen.

Dr. Annegret Reski FB Maschinenbau und Wirtschaft Mönkhofer Weg 239 23562 Lübeck Tel. 0451 / 300-5362 reski@fh-luebeck.de

Stefan Goes Communicare Hafenstraße 33 23568 Lübeck Tel. 0451 / 8818510 sg@communicare.de

"Stoffstromtrennung zur Ertüchtigung von Abwasseranlagen am Beispiel der Untergrundverrieselung"

M. Grottker (FH Lübeck), R. Schmidt (fhl Forschungs-GmbH), Plenz (fhl Forschungs-GmbH), K. Schütt (FH Lübeck), M. Oldenburg (Otterwasser GmbH, Lübeck)

Gefördert durch die Europäische Union und das Land Schleswig-Holstein

1. Einführung

Mit Beginn des 21. Jahrhunderts sieht sich die Wasserwirtschaft in Deutschland und in ganz Europa neuen Herausforderungen gegenüber. Die konventionellen Konzepte der Abwassersammlung und –behandlung mit den herkömmlichen End-Of-Pipe-Verfahren werden in mehrfacher Hinsicht den modernen Anforderungen einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft nicht mehr gerecht. Klimawechsel, schwindende natürliche Ressourcen und steigende Energiepreise führen vermehrt zur Suche nach neuen nachhaltigen Verfahren der Siedlungswasserwirtschaft. Neu in den Fokus rücken dabei dezentrale Abwasserbehandlungsverfahren mit geringem Transportaufwand für zu behandelndes Abwasser, naturnahe Behandlungsverfahren mit reduziertem Energieaufwand und Stoffstromtrennverfahren mit verstärkter Wertstoffrückgewinnung.

Schleswig-Holstein ist ein stark landwirtschaftlich geprägtes Flächenland in welchem naturnahe und dezentrale Verfahren der Abwasserbehandlung aus strukturellen Gründen von Alters her eine bedeutendere Rolle spielen, als in anderen Bundesländern. Aus diesem Grund ist in Schleswig-Holstein die Anzahl der sich im Betrieb befindenden Kleinkläranlagen mit ca. 57.500 besonders hoch. In den vergangenen Jahrzehnten war dabei die Verrieselung der Abwässer in den Untergrund häufig das Verfahren der Wahl, so dass im Jahr 2001 etwa 6.800 dieser sogenannten Untergrundverrieselungsanlagen betrieben wurden.

Bei einer Untergrundverrieselungsanlage wird das, im Regelfall in einer vorgeschalteten Mehrkammerausfaulgrube mechanisch vorbehandelte Abwasser, über im Boden verlegte Rieselstränge direkt in den Untergrund versickert und durch die Passage des anstehenden Bodens biologisch gereinigt. Einer der größten Vorteile dieser Anlagen waren die im Vergleich zu anderen Kleinkläranlagen niedrigen Herstellungskosten, welche im Regelfall durch Eigenleistungen der Betreiber noch weiter reduziert werden konnten. Größtes Manko dieses Verfahrens ist das Fehlen einer Möglichkeit zur Überwachung der Ablaufwerte, gemäß Abwasser-VO, Anlage 1 (2002). Im Rahmen von eigenen Untersuchungen zeigte sich, dass die Anlagen zur Untergrundverrieselung den Anforderungen bezüglich des Abbaus organischer Abwasserinhaltsstoffe genügen können. Als nicht befriedigend stellten sich dagegen die Reinigungsleistungen dieser Anlagen bezüglich der Elimination von Stickstoffverbindungen heraus. Damit ist insbesondere eine Grundwasserbelastung mit Nitrat zu besorgen.

Hauptziel des hier beschriebenen Vorhabens war es, die weiterhin in Betrieb befindlichen Untergrundverrieselungsanlagen in Bezug auf die Elimination von Stickstoff zu ertüchtigen. Dabei sollten Verfahren zur Stoffstromtrennung im Bestand geprüft werden, um gleichzeitig einen nährstoffreichen Abwasserteilstrom für die spätere landwirtschaftliche Verwertung zu gewinnen.

2. Konzepte zur Trennung von Stoffströmen

Die in den Industrieländern zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts entwickelten, größtenteils eingesetzten und noch heute gebräuchlichen Abwasserbehandlungs-Konzepte stellten zur Zeit ihrer Entwicklung einen Meilenstein auf dem Weg zu einer modernen Siedlungshygiene dar. Diese Systeme der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung haben sich über Jahrzehnte hinweg bewährt, sie widersprechen jedoch vielfach, den Kriterien der Nachhaltigkeit.

Nach *Lange & Otterpohl (2000)* beträgt der Nährstoffgehalt von 1 m³ häuslichem Abwasser im Durchschnitt 80 g Gesamt-Stickstoff, 20 g Gesamt-Phosphor und 60 g Kalium. Dabei ist Urin der mit 1 Prozent des gesamten Abwasservolumens mengenmäßig kleinste Abwasserteilstrom, enthält dabei aber fast 90 % des gesamten Stickstoffs, mehr als 50 Prozent des Phosphors und etwa die Hälfte des Kaliums (Tabelle 1). Trotzdem muss aber das komplette Abwasser gereinigt werden, um die Verschmutzungen sicher zu entfernen und eine Gefährdung der Öffentlichkeit sowie der Wasserressourcen zu vermeiden. Ein erhöhter Fremdwasseranfall, wie er insbesondere in veralteten Mischsystemen zu beobachten ist, verschärft diese Probleme noch.

		Grauwas	Grauwasser		Schwarzwasser Fäkalien Urin			Gesamt	
			%		%		%		%
Menge	[l/(E*a)]	30.000		50		500		30.550	
Org. Kohlenstoff	[kg/(E*a)]	5,50	19,5	17,0	59,5	6,0	21,0	28,5	100,0
Stickstoff (TKN)	[kg/(E*a)]	0,30	5,2	0,5	8,6	5,0	86,2	5,8	100,0
Phosphor	[kg/(E*a)]	0,05	7,7	0,2	30,8	0,4	61,5	0,7	100,0
Kalium	[kg/(E*a)]	1,10	48,5	0,2	7,5	1,0	44,0	2,3	100,0

Tabelle 1: Größenordnungen an organischem Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Kalium in Abwasserteilströmen häuslichen Abwassers nach Lange & Otterpohl (2000)

Die Kosten für Sammlung, Transport und Reinigung von Abwässern betragen in Deutschland jedes Jahr mehrere Milliarden. In der gleichen Größenordnung kommen dazu noch Kosten für Bestandserhaltung und Sanierung der öffentlichen Abwasserkanäle. Der wichtigste Aspekt der fehlenden Nachhaltigkeit liegt aber in der Vermischung von Wasser- und Nahrungsmittel- bzw. Nährstoffkreislauf. Diese Vermischung bedingt, dass ein hoher Anteil an Stoffen in die Gewässer eingeleitet wird.

Einer der vielversprechendsten Wege, um diese Kreisläufe zu trennen, ist die Kontrolle und Behandlung der einzelnen Abwasserteilströme bereits bei ihrer Entstehung, vor ihrer Vermischung mit anderen Stofffraktionen. Anstelle der Mischung und "gleichzeitigen" Behandlung aller Abwasserteilströme, können deutlich bessere Ergebnisse erzielt werden, wenn die unterschiedlichen Ströme je nach ihrer Quantität und Zusammensetzung separiert behandelt werden. Üblicherweise werden Abwasserteilströme wie in Tabelle 2 dargestellt unterschieden.

Schwarzwasser	Abwasser der Toiletten und Urinale (Fäkalien und Urin mit Spülwasser); nährstoffreich und schadstoffarm (Gelb- plus Braunwasser)
Gelbwasser	Urin aus Urinseparationstoiletten und Urinalen, mit oder ohne Spülwasser (Schwarzwasser ohne Braunwasser)
Braunwasser	Fäkalien aus Separationstoiletten mit oder ohne Spülwasser (Schwarzwasser ohne Urin bzw. Gelbwasser)
Grauwasser	Häusliches Abwasser aus Küche, Bad, Dusche, Waschmaschine usw. (ohne Schwarzwasser / Fäkalien und Urin); nährstoffarm und schadstoffbelastet
Regenwasser	Dachablaufwasser mit atmosphärischer Belastung, Hof- & Platzwasser (nutzungsbedingte Verschmutzung), Straßenablauf (belastet durch Verkehr und atmosphärische Belastung)

Tabelle 2: Abwasserteilströme

Die Konzepte zur Trennung von Stoffströmen können in drei Gruppen unterteilt werden.

- 1. Schwarzwassertrennung: Bei der Schwarzwassertrennung wird das Toilettenwasser vom Schmutzwasser getrennt, ggf. mit Bioabfällen angereichert und in Biogasanlagen behandelt. Das dabei gewonnene Biogas kann ggf. lokal genutzt und der ausgefaulte Schlamm landwirtschaftlich verwertet werden. Die Umsetzung kann zurzeit effizient nur mit wassersparenden Vakuumtoiletten erfolgen, die jedoch einen hohen Energieaufwand verursachen. Sowohl für die Vakuumtoiletten als auch für Biogasanlagen liegen umfangreiche technische Erfahrungen vor, so dass der Betrieb keine großen Risiken birgt.
- 2. Gelbwassertrennung: Bei der Gelbwassertrennung wird mittels Separationstoiletten Urin plus Spülwasser sowie ggf. Urin von Urinalen vom Schmutzwasser getrennt und für die Verwendung in der Landwirtschaft zwischengespeichert. Der Trenngrad und die Betriebssicherheit der Separationstoiletten sind je nach Bauart unterschiedlich, so dass sich die Systeme in Benutzerkomfort und Verdünnungsgrad des Urins sehr unterscheiden können. Betriebsprobleme bestehen bei der Ableitung und Speicherung des hoch konzentrierten Urins insbesondere durch Ausfällungen und Geruchsemissionen. Die sehr kleineren Stoffmengen mit sehr hohen Stofffrachten rechtfertigen jedoch dieses Konzept.
- 3. Gelb- und Braunwassertrennung: Bei der Gelb- und Braunwassertrennung werden wie bei der Gelbwassertrennung Separationstoiletten zur Abtrennung von Fäkalien und Urin vom Schmutzwasser verwendet. Die Bewirtschaftung des Urins erfolgt wie bei der Gelbwassertrennung. Das Braunwasser kann ggf. gemeinsam mit dem Grauwasser gefiltert und der Filterrückstand nach einer Kompostierung zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft verwendet werden. Abbildung 1 zeigt ein Fließschema für dieses Konzept. Die Filtration von Braun- und ggf. Grauwasser ist technisch zwar lösbar, doch ist für das hygienische Handling bei dezentralen Anlagen ein Training der Betreiber erforderlich. Trotz des großen technischen Aufwandes rechtfertigt der hohe Anteil an rückgeführten Nährstoffen dieses Konzept.

Alle drei Konzepte sind beim Neubau oder bei der vollständigen Sanierung von Gebäuden erfolgreich realisiert worden. Eine Optimierung des Betriebes und die Verbesserung der technischen Elemente stehen zurzeit noch aus. Eine Realisierung im Bestand ist bisher jedoch noch nicht vorgenommen worden. Theoretisch möglich, aber praktisch nur mit sehr großem Aufwand und Unannehmlichkeiten verbunden, wäre die Installation von neuen Toiletten und mit einem komplett zusätzlichen Leitungssystem im Bestand. Diese Konzepte scheiden zurzeit aus ökonomischen und Akzeptanzgründen aus.

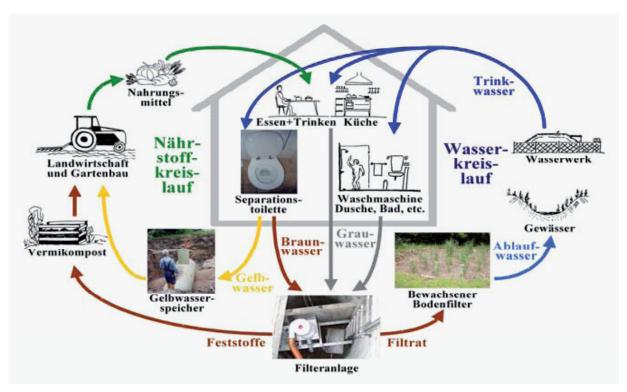


Abb. 1: Schematische Darstellung der Gelb- und Braunwassertrennung im Projekt "Lambertsmühle" (Oldenburg, 2003)

Konzepte, die das bestehende Schmutzwasserrohr zur getrennten Ableitung des Nährstoffstromes mit benutzen, wären technisch denkbar, ökonomisch vertretbar und ggf. auch akzeptabel. Um den Aufwand und das Risiko zu begrenzen scheinen lediglich Systeme zur Gelbwassertrennung dafür geeignet zu sein. Genau diese Fragestellung ist Gegenstand dieses Projektes. Ein erfolgreich betriebenes System zur Gelbwassertrennung wäre dann auch für die Ertüchtigung von Anlagen zur Untergrundverrieselung oder anderen Kleinkläranlagen geeignet. Der dabei gewonnene Urin könnte als Wertstoff verwendet und später auch wirtschaftlich genutzt werden.

3. Urin als Wertstoff

Ein Großteil der Nährstofffrachten im häuslichen Abwasser wird durch menschlichen Urin verursacht. Dies sind nach *Lange & Otterpohl (2000)* ca. 86 Prozent des gesamten Stickstoffs, ca. 62 Prozent des Phosphors und ca. 44 Prozent des Kaliums. In der Natur kommen Stickstoff, Phosphor und Kalium in unterschiedlicher Form vor. So bestehen 80 Prozent der Atmosphäre aus gasförmigem Stickstoff N_2 . In organischer Form tritt Stickstoff in Form von Eiweißen und Eiweißverbindungen, im häuslichen Abwasser im Regelfall als Ammonium NH_4 -N, in kleineren Teilen als Nitrat NO_3 -N und Nitrit NO_2 -N auf. Organisch gebundener Stickstoff liegt im Abwasser Hauptsächlich als Harnstoff $CO(NH_2)_2$ vor.

Die Entfernung von Stickstoffverbindungen aus dem Abwasser ist eine der zentralen und gleichzeitig kostenintensiven Aufgaben der Abwasserreinigung, da Stickstoffverbindungen in der Umwelt, insbesondere im Gewässer schädlich wirken. So wirkt Nitrat eutrophierend, Ammonium/Ammoniak, gilt als Fischgift. Die Emissionen von Gesamtstickstoff in Oberflächengewässer betrugen nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (2004) in den Jahren von 1993 bis 1997 etwa 820.000 t im Jahresmittel, wobei ca. 25 Prozent dieser Emissionen aus kommunalen Kläranlagen stammen.

Phosphor kommt in der Natur chemisch gebunden in Organismen und Mineralen vor. Für die Herstellung von Phosphor und Phosphorverbindungen sind Phosphatminerale notwendig. Bei 95 Prozent dieser Minerale handelt es sich um Apatit, allgemein beschrieben als Ca₅[F,Cl,OH/PO₄]₃. Im Gegensatz zu Stickstoff ist er eine endliche Ressource. Einen Überblick über die weltweiten Vorräte gibt Abbildung 2. Neben der wirtschaftlichen Betrachtung der förderfähigen Vorkommen bleibt auch die Frage nach der Qualität der Phosphorvorkommen zu klären. Eine besondere Bedeutung ist dabei dem Cadmium beizumessen, das in verschiedenen Formen vorkommt, und entweder ins Gitter der Mineralkristalle eingebaut,

oder gebunden an organische Substanz oder auch Calcit, vorliegt. Eine Reduktion der statistischen Lebensdauer bleibt zu befürchten.

Im Abwasser kommt Phosphor im Regelfall in Form von Phosphaten vor. Diese stammen zu überwiegenden Teilen aus Urin, sowie aus Wasch- und Reinigungsmitteln. In Abwasserreinigungslagen wird Phosphor chemisch und biologisch eliminiert, da er zu Eutrophierungen im Gewässer führt. Nach Angaben des Bundesumweltamtes (2002) betrugen die Emissionen von Phosphor in Oberflächengewässer im Zeitraum von 1993 bis 1997 im Jahresmittel 37.000 t, wobei 37 Prozent dieser Emissionen über kommunale Kläranlagen eingetragen wurden.

Düngemittelrohstoffe sind damit, wie auch zum Beispiel Energierohstoffe, als nicht erneuerbare Rohstoffe zu betrachten. Anders als aber zum Beispiel Metalle, sind diese jedoch nur schwer oder gar nicht zu rezyklieren, das heißt, sie werden nicht nur gebraucht, sie werden tatsächlich verbraucht. Entscheidende Bedeutung kommt jedoch der Tatsache zu, dass diese Stoffe, anders als alle anderen Rohstoffe, nicht substituiert, resp. durch gleichwertige Stoffe ersetzt werden können. Dies hat zur Folge, dass die Flexibilität des Einsatzes von Düngemittelrohstoff extrem niedrig ist, in der Zukunft deutlich niedriger sein wird, und die Entwicklung von Strategien für eine nachhaltige Nutzung vorhandener Düngemittelrohstoffe von absolut essentieller Bedeutung ist.

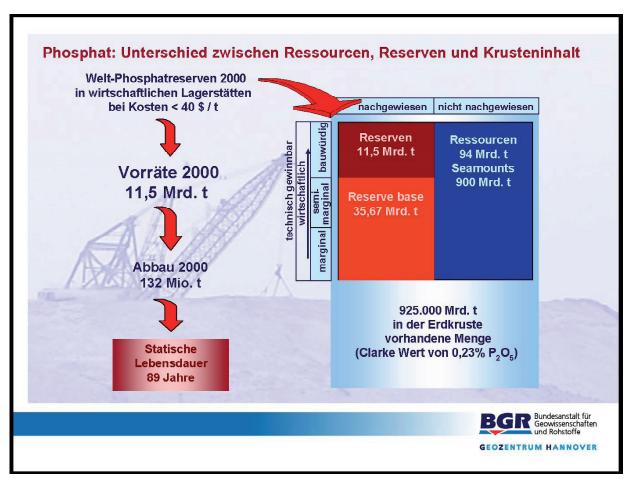


Abb. 2: Weltweite Vorräte an Phosphat (BGR-Datenbank)

4. Technische Systeme zur Gelbwassertrennung im Bestand

Die räumlich getrennte Ableitung des Gelbwassers mittels einer nachträglich in die Abwasserleitung eingezogenen Leitung zu einem außerhalb der Hausinstallation liegenden Sammeltank ist völlig gescheitert, so dass hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Bei der zeitlich getrennten Ableitung des Gelbwassers wird der separierte Urin direkt an der Trenntoilette gesammelt, und zu einem Zeitpunkt, an welchem die hausinternen Abwasserleitungen ungenutzt sind, vorzugsweise während der Nachtstunden, zu einem außerhalb der Hausinstallation liegenden Sammeltank abgeleitet. Deutlicher Nachteil dieses Verfahrens ist der hohe steuer- und regelungstechnische Aufwand, die Geruchsprobleme bei der Speicherung des Urins sowie eine mögliche Urinsteinbildung in Leitungen und Tanks. Die wichtigsten technischen Funktionseinheiten nach Abbildung 3 sind dabei:

- · die Separationstoilette, in der der Urin separiert wird,
- · der Separationstank, in dem der Urin in der Regel tagsüber zwischengespeichert wird,
- · die Urinpumpe, über die der Urin aus dem Separationstank abgepumpt wird,
- · die Gelbwasserweiche, die zur Ableitung des Urins in den Gelbwassertank erforderlich ist,
- · der Gelbwassertank, in dem der Urin bis zur Abholung für die weitere Nutzung zwischengespeichert wird,
- die Steuerung, die die technischen Elemente steuert.

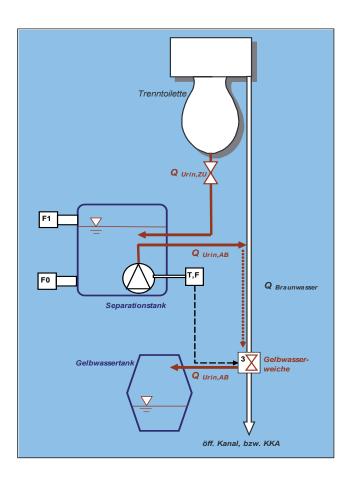


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Systems zu zeitlich getrennten Ableitung des Gelbwassers

Die Testung einer Anlage zur Stoffstromtrennung mit zeitlich gesteuerter Ableitung erfolgt in den sanitären Einrichtungen der VAK Reinfeld. Dafür standen im Bereich der Herrentoiletten eine Trenntoilette der Fa. RÖDINGER und ein wasserloses Urinal der Fa. KERAMAG zu Verfügung. Im Bereich der Damentoiletten wurde eine Trenntoilette der Fa. GUSTAVSBERG installiert. Der Aufbau der jeweiligen Separationstanks wurde jeweils den vorliegenden räumlichen und technischen Voraussetzungen angepasst (Abbildung 4).



Abb. 4: Separationstank mit Trenntoilette der Fa. Gustavsberg (Damentoilette VAK Reinfeld)

Unabhängig davon, ob es sich um eine Trenntoilette oder ein Urinal handelt, wird der getrennt aufgefangene Urin über eine neu verlegte Gelbwasserleitung in den unter der Toilette untergebrachten Separationstank geleitet. Dieser ist so ausgelegt, dass die Tagesvolumina anfallenden Urins sicher aufgenommen werden können. Einmal pro Tag wird das gespeicherte Gelbwasser mittels einer im Tank installierten Pumpe in das Fallrohr der bestehenden Sanitärinstallation gepumpt. Dies geschieht bevorzugt in Zeiten niedriger Auslastung der Hausleitungen, das heißt möglichst in den Nachtstunden.

Der im Laufe des Tages gesammelte Urin, welcher über die vorhandene Fallleitung der Hausinstallation abgeleitet wird, muss außerhalb oder zumindest im Kellerbereich des Gebäudes, wieder aus diesem System herausgeführt werden. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Projektes eine sog. Gelbwasserweiche (Abbildung 5) entwickelt, welche den beim Abpumpen des Separationstanks entstehenden Urinstoß aus dem bestehenden Sanitärsystem wieder heraus leitet. Diese wird per Funksignal durch die Steuereinheit des Separationstanks angesteuert, und verschließt die Hauptabwasserleitung, während eine weitere Urinleitung zum sog. Sammeltank geöffnet wird. In diesem kann der separierte Urin über den Zeitraum mehrerer Tage gesammelt werden, bevor er von einem Sammelfahrzeug, analog heute bereits gängiger Wertstoffsammelfahrzeuge, abgeholt und seiner weiteren Verwertung zugeführt wird.



Abb. 5: Gelbwasserweiche im Übergabeschacht

Der Füllstand im Separationstank wird ständig überwacht. Sollte der Tank bereits vor Ablauf dieser Zeit gefüllt sein, erfolgt ein sofortiges Abpumpen. So konnte sichergestellt werden, dass ein Überlaufen des Tanks ausgeschlossen ist. Da zum Zeitpunkt des Sicherheitsabpumpens nicht sichergestellt werden kann, dass die Abwasserleitungen nicht gleichzeitig anderweitig genutzt werden, bleibt in diesem Fall die Hauptabwasserleitung geöffnet und Urinleitung zum Sammeltank geschlossen, wodurch diese Urincharge für die Rückgewinnung verloren gehen würde.

Anschließend wurde ein weiterentwickelter Prototyp des Separationstanks in den sanitären Einrichtungen eines Lübecker Ein-Familien-Hauses installiert (Abbildung 6). Die Bewohner, eine fünfköpfige Familie, hatten sich freiwillig für diesen ersten Probebetrieb zur Verfügung gestellt. Vorrangiges Ziel war es, die Praxistauglichkeit, die Betriebssicherheit, den Nutzungskomfort und die grundsätzliche Akzeptanz des Prototyps unter "realen" Bedingungen zu testen.

Die Erkenntnisse, welche sich aus dem Testbetrieb der Separationstanks in den Sanitäreinrichtungen der VAK sowie dem Lübecker Privathaushalt ziehen lassen, werden hinsichtlich der Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit der unterschiedlichen Bauteile beurteilt. Nach dem Rückbau der Separationstechnik im November 2008 konnten die Separationstanks zum ersten Mal nach dem Dauerbetrieb von bis zu 20 Monaten intensiver untersucht und auf Verschleiß und Beanspruchungskennzeichen geprüft werden.



Abb. 6: Separationstand mit Trenntoilette der Fa. Gustavsberg (Lübecker Privathaushalt)

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Steuerung und Schaltung der Separationstanks bereitete während der gesamten Betriebslaufzeit wenig Probleme.
- Die getesteten Pumpen eignen sich nicht für den Dauerbetrieb. Da der Urin nur einmal täglich für wenige Minuten aus dem Separationstank abgepumpt wird kann diese Randbedingung eingehalten werden. Die starke Gefahr der Verstopfung durch Urinstein(Struvit) wird anhand der Abbildung 7 deutlich.
- Das Gehäuse des Separationstanks wird sehr stark durch das aggressive Medium Urin beansprucht. Ablagerungen, Undichtigkeiten mit Geruchsproblemen konnten während der gesamten Versuchsphase von 18 Monaten zwar eingedämmt, aber nie ganz ausgeschlossen werden.
- Bei der Gelbwasserweiche wurde eine Verschlussklappe eingesetzt, die auch im geöffneten Zustand den Rohrquerschnitt zu ca. 20% versperrt. An der Klappe können faserige Feststoffe leicht hängen bleiben und den Fließquerschnitt verstopfen. Eine derartige Verstopfung ist während der Testphase im Lübecker Privathaushalt einmal eingetreten. Die Verstopfungsgefahr könnte deutlich reduziert werden, wenn an Stelle der Verschlussklappe ein Schieber oder ein Kugelhahn eingesetzt würde. Beide Aggregate sind jedoch deutlich teurer (> 2.000,⁻ €), so dass ihre Installation die Gesamtkosten einer Umrüstung so sehr erhöht, dass eine Realisierung nicht mehr attraktiv ist.



Abb. 7: Pumpe aus dem Separationstank der Damentoilette – Gefahr von Urinstein (Struvit)

Im Sommersemester 2008 wurde mit Studierenden des Masterstudienganges Bauingenieurwesen der FH Lübeck eine Systemanalyse zu einer möglichen Implementierung der Urinseparation in der Stadt Reinfeld mit Hilfe des Sensitivitätsmodells von Vester (1990) durchgeführt. Bei dieser Systemanalyse werden die Wechselwirkungen der Systemvariablen und sich daraus ergebende Regelkreise ermittelt. Hinsichtlich des Systems der Urinseparation stellten sich dabei als wichtige Variablen heraus:

- Betriebssicherheit der Funktionseinheiten
- · Akzeptanz/Zufriedenheit der Nutzer mit dem neuen Sanitärkonzept
- · Funktionsfähigkeit der Separiereinrichtung
- · Anschlussgrad an neues Sanitärkonzept
- · Grad der Fehlnutzung

Diese fünf Variablen sind fast ausschließlich in positiv rückgekoppelte Regelkreise integriert, die dazu führen, dass sich das System extrem schnell aufschaukeln kann. Das Bedeutet, dass eine kleine Verschlechterung z.B. bei der Betriebssicherheit der Funktionseinheiten sehr leicht eine Instabilität des gesamten Systems herbei führen kann. Dadurch würde die Akzeptanz der Bürger schlagartig verschwinden und das System wäre mit vertretbaren Betriebsaufwand nicht mehr zu betreiben.

Durch die starke Verzahnung der o.g. fünf Variablen in mehreren Regelkreisen wäre es von untergeordneter Bedeutung, bei welcher Variable sich eine Veränderung einstellt. Das betrachtete System ist extrem instabil und sollte nur in sehr kleinem Maßstab erprobt werden. Es eignet sich folglich aus systemischen Gründen nur für den einzelnen Haushalt oder eine kleine Gruppe von Haushalten.

Die Untersuchungen zur zeitlich getrennten Ableitung des Gelbwassers waren deutlich erfolgreicher als die der räumlich getrennten Ableitung. Dennoch waren Probleme mit Gerüchen, Verstopfungen und Pumpenausfall aufgetreten, die zu Betriebsstörungen führten und einen sicheren, dauerhaften Betrieb nicht garantieren. Vor dem Hintergrund einer Systemanalyse wurde zudem ein erhebliche Risiko festgestellt, dass zur Instabilität des Systems führen kann, so dass als Ergebnis festgestellt wird:

Das System zur räumlich getrennten wie auch zur zeitlich getrennten Ableitung des Gelbwassers zur nachträglichen Installation von Stoffstromtrennverfahren wird verworfen. Die derzeit einzige Möglichkeit der Nachrüstung besteht in der Installation eines zusätzlichen Rohrsystems im betrachteten Gebäude.

Die Bewirtschaftung des Gelbwassers, auf die hier nicht näher eingegangen wird sowie die Behandlung des verbleibenden Abwasserstroms im Bodenfilter sind von der Art der Trennung des Gelbwassers mehr oder weniger unabhängig. In diesem Fall wird von einer getrennten Ableitung des Gelbwassers in einem zusätzlichen Rohrsystem im betrachteten Gebäude ausgegangen.

5. Ertüchtigung von Anlagen zur Untergrundverrieselung durch Stoffstromtrennung

Die Untersuchungen wurden an einer Bodenfilteranlage in der VAK Reinfeld durchgeführt. Die Beschickung der Kammern erfolgte mit kommunalem Abwasser sowie Grauwasser, das mit unterschiedlichen Anteilen von Gelbwasser angereichert wurde, um eine Abstufung in der Nährstoffbelastung herzustellen. In den vier unterschiedlichen Vorlagebehältern befinden sich die folgenden Abwasserarten:

- Vorlagebehälter 1 zur Beschickung Filterkammern 1 und 2:
 - ⇒ kommunales Abwasser KA Reinfeld
- Vorlagebehälter 2 zur Beschickung Filterkammern 3 und 4:
 - ⇒ Grauwasser Flintenbreite + 2/3 der gewöhnlichen Urinfracht (1,6 Liter gelagerter Urin aus der Herrentoilette der VAK)
- Vorlagebehälter 3 zur Beschickung Filterkammern 5 und 6:
 - ⇒ Grauwasser Flintenbreite + 1/3 der gewöhnlichen Urinfracht (0,8 Liter gelagerter Urin aus der Herrentoilette der VAK)
- Vorlagebehälter 4 zur Beschickung Filterkammern 7 und 8:

Die mittleren Nährstoffkonzentrationen im Zulauf der 5 untersuchten Bodenfilterkammern sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Abstufung der Nährstoffkonzentrationen ist besonders in den Stickstoffbelastungen deutlich erkennbar. Durch die Zugabe des Urins wurden im Abwasser des dritten Filters ähnlich hohe Stickstoffkonzentrationen ermittelt wie im Reinfelder Abwasser. Die Konzentration im reinen Grauwasser hingegen erreichen dagegen lediglich ca. 18 Prozent der Konzentration des kommunalen Abwassers. In den Phosphat- und CSB Konzentrationen sind die Differenzen zwischen dem Abwasser aus Reinfeld und dem Grauwasser nicht so ausgeprägt, aber dennoch deutlich zu erkennen. Das reine Grauwasser weist mit durchschnittlich 457 mg/l CSB eine Konzentration auf, die ca. 60 Prozent derer ausmacht, die im Reinfelder Abwasser ermittelt wurde. Der Phosphatgehalt des Grauwassers beträgt ca. 70 Prozent des Phosphatgehaltes im Abwasser aus Reinfeld.

	pH-Wert	LF	N _{ges}	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P _{ges}	CSB
	[-]	[mS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Filter 1	7,54	1,56	101,8	70,3	0,51	14,9	746
Filter 2	7,49	1,54	98,8	69,1	0,50	15,0	770
Filter 3	7,89	1,90	102,5	88,7	0,30	14,1	546
Filter 5	7,32	1,45	65,6	46,0	0,20	11,6	484
Filter 7	6,87	1,01	18,2	5,5	0,08	10,4	457

Tabelle 3: Mittlere Verhältnisse im Zulauf: Nährstoffkonzentrationen und charakteristische Parameter der untersuchten Abwässer

Stellvertretend für die untersuchten Parameter sind in Tabelle 4 und Abbildung 8 die Stickstoffkonzentrationen über die Tiefe des Bodenfilters aufgezeigt. Daraus wird die deutliche Abnahme der Grundwasserbelastung durch Stickstoff mit abnehmender Zulaufkonzentration ersichtlich. Diese ist beim reinen Grauwasser besonders ausgeprägt, da das Grauwasser eine optimale Nährstoffzusammensetzung für die Entwicklung einer sehr aktiven Bakterienkultur bietet. Für die weiteren untersuchten Stoffparameter wurde sehr ähnliche Ergebnisse erzielt.

		Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 5	Filter 7
Zulauf	N _{ges} [mg/l]	101,8	98,8	102,5	65,6	18,2
S1	N _{ges} [mg/l]	86,3	94,0	89,8	43,5	7,0
S2	N _{ges} [mg/l]	61,4	78,2	74,7	40,4	6,1
Ablauf	N _{ges} [mg/l]	60,9	72,6	79,1	39,4	5,0

Tabelle 4: Gesamtstickstoff-Durchschnittskonzentrationen im Zulauf-, Sicker- und Ablaufwasser der einzelnen Filterkammern

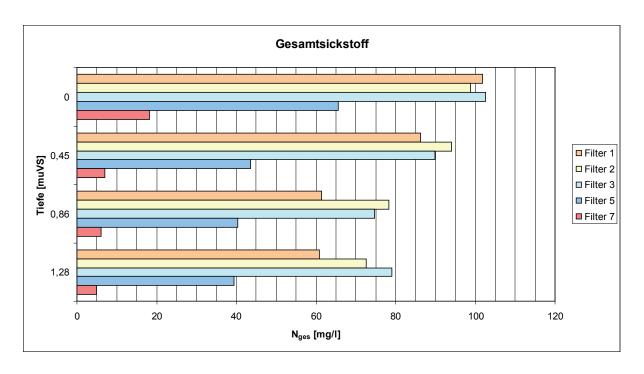


Abb. 8: Gesamtstickstoff-Konzentrationen in Zulauf-, Sicker- und Ablaufwasser nach unterschiedlichen Sickerwegstrecken

6. Zusammenfassung

Die Stoffstromtrennung im Bereich der Abwasserwirtschaft gewinnt vor dem Hintergrund knapper Phosphor-Ressourcen zunehmend an Bedeutung. Zwar reichen die geschätzten Vorkommen noch ca. 80 Jahre, doch eine abnehmende Qualität des Phosphors durch hohe Cadmium-Gehalte kann diese Periode deutlich verkürzen.

Im Abwasser liegt Phosphor überwiegend als Phosphat gelöst vor und kann in dieser Form gut in der Landwirtschaft zu Zwecken der Düngung eingesetzt werden. Die Separation von Gelbwasser (Urin inkl. Spülwasser) sowie von Schwarzwasser (Toilettenabwasser) sind prinzipiell dafür geeignet. In der vorliegenden Untersuchung stand die Separation eines nährstoffhaltigen Stoffstromes (Gelbwasser) in schon bestehenden Sanitäranlagen im Mittelpunkt. Dadurch sollten einerseits ein wertvoller Nährstoff gewonnen und andererseits Abwasseranlagen ertüchtigt werden. Zur Separation des Gelbwassers können 3 verschiedene Verfahren eingesetzt werden:

- Räumlich getrennte Ableitung des Gelbwassers in komplett neuen, zusätzlichen Leitungen. Die Kosten, aber vor allem die ästhetischen Beeinträchtigungen für diese Baumaßnahmen wären hoch. Technisch ist die Trennung ohne wesentliche Probleme realisierbar.
- Räumlich getrennte Ableitung des Gelbwassers im bestehenden Abwassersystem. Die Installation und der störungsfreie Betrieb dieses Systems waren unter technisch sinnvollen Randbedingungen in keiner Weise zu realisieren.
- Zeitlich getrennte Ableitung des Gelbwassers im bestehenden Abwassersystem. Dieses System konnte zwar technisch realisiert werden, Betriebsprobleme wie Gerüche, Verstopfungen, Ablagerungen oder andere Fehlfunktionen konnten aber nicht auf ein für den Nutzer akzeptables Maß reduziert werden, so dass diese Art der Stoffstromtrennung nicht erfolgreich umgesetzt werden konnte.

Damit reduzieren sich die technischen Möglichkeiten auf die komplett neue Installation von zusätzlichen Rohrleitungen im Bestand der Gebäudesubstanz. Diese sollten bei einer Komplettsanierung von Gebäuden durchgeführt werden, um die Unannehmlichkeiten für die Bewohner der Wohnungen oder Häuser in Grenzen zu halten.

Unabhängig von der Technologie, die zur Separation des nährstoffhaltigen Abwassers benutzt wurde, konnten neue Erkenntnisse zur Bewirtschaftung des Gelbwassers gewonnen werden. Die Tagesgänge der Urinausscheidungen deuten darauf hin, dass weder die Stoffkonzentrationen noch die Stofffrachten im Urin verallgemeinerbar sind. Offensichtlich sind die Trink- und Ernährungsgewohnheiten so dominant und verschieden, dass kein einheitlicher Tagesgang zu ermitteln war. Folglich sollte die gesamte tägliche Fracht verwendet bzw. eine möglichst vollständige Separation angestrebt werden.

Die verwendeten Separationstoiletten unterschieden sich in dem Trenngrad, so dass nur eine unvollständige, ca. 50% ige Separation erreichbar scheint. Ein weiteres Problem stellt die Verdünnung mit Spülwasser dar. Diese war bei der Separationstoilette von Gustavsberg deutlich höher als bei der Separationstoilette von Rödinger. Andererseits wies die Separationstoilette von Gustavsberg deutliche Vorteile bei der Betriebssicherheit auf.

Bei der Lagerung des Gelbwassers trat bei den offenen Proben eine deutliche Abnahme des Probenvolumens und auch der Nährstoffgehalte ein. Insbesondere beim Stickstoff sind die Verluste über die Gasphase beträchtlich, so dass eine Lagerung ausschließlich bei systematischem Luftabschluss (anaerob) durchgeführt werden sollte.

Für die Ertüchtigung der Anlagen zur Untergrundverrieselung konnte ein deutlich besserer Behandlungserfolg für die Anlagen mit Stoffstromtrennung erzielt werden. Allerdings wurde offensichtlich, dass bei der Separation von Schwarzwasser günstigere Nährstoffverhältnisse und damit eine höhere Wirksamkeit der Abwasserbehandlung erreicht werden als bei der Separation von Gelbwasser. Unter Berücksichtigung des mäßigen Trenngrades der Separationstoiletten, der nachteiligen Verdünnung durch Spülwasser und den Verlusten bei der Lagerung von Gelbwasser wird hier die Separation von Schwarzwasser als sinnvoller erachtet. Diese Feststellung gilt auch für die Stoffstromtrennung im Bestand. Eine Ertüchtigung der Abwasseranlagen, insbesondere der Untergrundverrieselung ist damit noch besser gegeben.

Zukünftig sollten sich die Untersuchungen auf die Reduktion der Nachteile der Schwarzwasserseparation konzentrieren. Hauptaugenmerk ist dabei auf das große Wasservolumen zu richten, das durch den Einsatz von Vakuumtoiletten deutlich gesenkt werden kann. Letztere weisen jedoch einen erheblichen Energieaufwand auf.

7. Literatur

Abwasser-VO des Landes Schleswig-Holstein, Anlage 1, 2002.

Lange, Jörg & Otterpohl, Ralf: Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft, Pfohren, Mallbeton Verlag, ISBN 3-9803502-1-5, 2000.

Oldenburg, M., Bastian, A., Londong, J., Niederste-Hollenberg, J.: Neue Abwassertechnik am Beispiel der Lambertsmühle, gwf Wasser Abwasser, Nr. 10, 2003, S. 660-665.

Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2004).

Vester, Frederic (1990): **Ausfahrt Zukunft – Strategien für den Verkehr von morgen – eine Systemuntersuchung.** Heyne, 1990.

Strom immer

Energie in großem Stil zu speichern ist schwierig. Ein Projekt in Lübeck zeigt wie es funktioniert

Sven Kulka

Wenn Sturm von der Nordsee ins Land fegt, geraten Tausende Windräder mächtig ins Kurbeln. Binnen Minuten schießt eine gewaltige Menge Strom ins Netz. Kommt zu viel Strom von der Küste, gilt es, den Überschuss sofort los zu werden, um die Netze zu schützen. Zum Ausgleich fahren Techniker herkömmlicher Kraftwerke herunter, andernorts werfen sie Pumpspeicherkraftwerke an und die Betreiber drosseln ihre Windräder. Fazit: die Kraft des Windes wird nicht optimal genutzt und viel erzeugte Energie geht verloren. Warum? Weil Strom-Speicher entweder Mangelware sind oder wenig effektiv arbeiten. ...

Derzeit benutzen Stromversorger, wo es möglich ist, Pumpspeicherkraftwerke. Mit dem überschüssigen Strom pumpen sie Wassermassen in Stauseen. Bei Flaute öffnen die Betreiber die Schleusen, das Wasser schießt wieder herab, treibt Turbinen an und speist so den Strom zurück ins Netz. Über 70 Prozent der eingesetzten Energie bleibt dabei erhalten.

Seit vielen Jahren funktioniert die schlichte Pumptechnik. Doch die Topografie der Landschaft steht ihr in vielen Gegenden entgegen: "Gerade im Flachland, wo der Wind kräftig bläst, steht meist kein hochgelegener See als Speicher zur Verfügung", sagt Niels Ehlers, vom Lehrstuhl Energiesysteme an der Technischen Universität Berlin. Alternativ könne man mit dem überschüssigen Strom auch Druckluft erzeugen und in unterirdischen Kavernen speichern. Sonderlich effektiv sei es aber nicht, mit dieser Druckluft wieder Strom zu gewinnen, denn mit bestehenden Technologien erhalte man weniger als die Hälfte des ursprünglich eingesetzten Stroms zurück.

Der Wind weht halt nicht immer genau dann, wenn die Elektrizität gerade gebraucht wird, daher ist eine Lösung gefragt, die Energie effektiv und vor allem in großem Stil speichern und nach Bedarf wieder freisetzen kann. Forscher an der FH Lübeck scheinen sie gefunden zu haben: Windwasserstoff heißt das Zauberwort. Eine kleine Demonstrationsanlage gibt es bereits auf dem Dach der FH, die seit 2007 mit zwölf Windrädern nicht nur Strom produziert, sondern die überschüssige Energie speichert.

"Wir versuchen, eine Art Großbatterie für Windräder zu bauen", sagt Roland Hamelmann, Leiter des Projektes an der Fachhochschule Lübeck. Den Strom verbraucht die Hochschule selbst, den überschüssigen Windstrom benutzt sie, um Wasser elektrolytisch in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff zu zerlegen. Wenn der Wind kräftigt weht, produzieren die Windräder auf dem FH-Dach zehn Kilowatt (im Jahr?). Zum Vergleich: Mit dem Wasserstoff, der am Ende herauskommt, kann eine A-Klasse 15.000 Kilometer fahren. So weit so gut. "Jetzt geht es darum, mit Hilfe der Windkraftanlage die Technologie zu verbessern und Möglichkeiten zu finden, wie man das Wissen im Anlagenbau nutzen kann", sagt Roland Hamelmann, der für diese Technologie eine weltweite Nachfrage sieht.

Wasserstoff ist ein sehr kompaktes Speichermedium und bietet die Möglichkeit, fossile oder nukleare Kraftwerke wirklich zu ersetzen. Pro Kubikmeter kann er 100-mal mehr Energie speichern als das Wasser in einem Pumpspeicher, 30-mal mehr als Druckluft. Auf dem Dach der FH in Lübeck funktioniert die Technologie bereits. In riesigen Lagern ließe sich das komprimierte Gas Untertage beispielsweise in großen Salzkavernen speichern. Wird Energie gebraucht, erzeugen Brennstoffzellen, Blockheizkraftwerken oder Gasturbinen aus dem Wasserstoff wieder Strom. Bis diese Technologie allerdings mit einem heute noch schlechten Wirkungsgrad funktioniert, bedarf es jedoch weiterer Forschung, die notwendig ist.

Rund 19 000 Windräder in Deutschland können heuten mehr als 20 Gigawatt bereitstellen - etwa so viel wie die noch laufenden Atomkraftwerke. Verschärfen wird sich das mit dem geplanten Aufbau großer Windparks auf See. Die für die Netzregelung benutzten Pumpspeicher reichen jedoch schon heute nicht mehr aus und fossile Kraftwerke müssen einspringen: "Für den deutschlandweiten Ausgleich einer typischen viertägigen Windflaute müsste man den Bodensee auf das Niveau der Zugspitze pumpen", sagt Roland Hamelmann.

Die Idee, Strom zu speichern, ist uralt, sie umzusetzen scheint aber trotz des wissenschaftlichen Fortschritts schwierig. Auf dem Dach der FH in Lübeck entwickeln Wissenschaftler aus ihr eine konkrete Technologie, die funktioniert. Eine Technologie, die schon bald dazu beitragen wird Energie zu speichern und so die Stromversorgung verlässlich zu sichern.

Störgeräuschunterdrückung in Hörgeräten

Jürgen Tchorz

1. Projektziel

Ziel des Forschungsvorhabens war die Evaluation verschiedener Verfahren zur Störgeräuschunterdrückung in Hörgeräteanwendungen. Die Ergebnisse des geplanten Forschungsvorhabens sollten Rückschlüsse darauf erlauben, welche Klasse von Verfahren zur Störgeräuschunterdrückung besonders wirkungsvoll im Hinblick auf den Einsatz in zukünftigen Hörgeräten sind, um dadurch zur Verbesserung der Kommunikationsmöglichkeiten von Schwerhörenden beizutragen.

2. Projektergebnisse

Die Störgeräuschunterdrückungsverfahren verschiedener Hörgerätetypen wurden mit zwei verschiedenen Verfahren evaluiert, welche jeweils unterschiedliche Aspekte des Nutzens für Schwerhörende untersuchen:

- 1. Elektroakustische Messung der SNR-Verbesserung anhand des Noise Reduction Index (nach Hagerman). Das Verfahren erlaubt eine getrennte Ermittlung der Sprach- und Störpegel nach Verarbeitung durch das Hörgerät und damit der SNR-Verbesserung durch die Störgeräuschunterdrückung. Untersucht wurden vier verschiedene aktuelle High-End Hörsysteme (Phonak Savia, Resound Metrix, Oticon Syncro, Siemens Acuris). Messtechnisch waren für 3 von 4 Geräten deutliche Verbesserungen des Noise Reduction Index (NRI) nachweisbar. Eine Verbesserung des Signal-Rauschabstandes ist Grundvoraussetzung dafür, dass auch für den schwerhörenden Träger des Hörgerätes ein Nutzen entstehen kann. Beim vierten Gerät (Oticon Syncro) konnte keine Verbesserung des NRI nachgewiesen werden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass das zugrundeliegende Verfahren zur Störgeräuschschätzung (Analyse der Harmonizität im Eingangssignal) nicht geeignet ist, eine sichere Klassifikation und Unterdrückung von Störgeräuschen zu ermöglichen. Dieses Verfahren kommt ausschließlich in diesem Gerät zum Einsatz, nicht in den anderen Dreien.
- 2. Sprachverständlichkeitsmessungen im Störschall. Insgesamt 20 Probanden nahmen an diesen Messungen teil. Zum Einsatz kam der Oldenburger Satztest, bei dem unvorhersagbare Sätze (z.B., "Peter kauft acht nasse Bilder") in zwei verschiedenen Störschallsituationen (stationäres sprachsimulierendes Rauschen und fluktuierendes ICRA-Rauschen) bei unterschiedlichen Sprachpegeln vorgespielt werden. Der Sprachpegel wird adaptiv geregelt, bis der Proband genau 50% der Sprache versteht. Der dann anliegende Signal-Rauschabstand (SNR) ist das Messergebnis. Untersucht wurden zwei Hörgerätetypen (Phonak Savia und Resound Metrix). Im fluktuierenden Störgeräusch wurde bei keinem Gerät eine Verbesserung (oder Verschlechterung) des Sprachverstehens mit eingeschalteter Störgeräuschunterdrückung nachgewiesen. Dies ist im Rahmen der Erwartungen, da ein fluktuierendes Störgeräusch vom Hörgerät sehr viel schwerer als solches erkannt und unterdrückt werden kann, als ein stationäres, also gleichmäßiges Störgeräusch. Im stationären sprachsimulierenden Rauschen erreichte eines der beiden Hörgeräte (Phonak Savia) eine statistisch signifikante Verbesserung des Sprachverstehens um 1 dB SNR (dies entspricht beim verwendeten Sprachtest einer Verbesserung um etwa 17%). In der bisherigen Literatur zum Sprachverstehen bei (älteren) Implementationen von Störgeräuschunterdrückungsverfahren in Hörgeräten wird nur äußerst selten von einer Verbesserung des Sprachverstehens berichtet. Von daher scheint der im Phonak Savia verwendete Ansatz (Auswertung der Amplitudenstatistik zur Störgeräuschschätzung und Wiener-Filterung zur Unterdrückung) besonders vielversprechend, um einen möglichst positiven Effekt zu erzielen.

3. Kommunikation der Ergebnisse

Die Resultate des Forschungsprojektes wurden auf einer Veranstaltung der Akademie für Hörgeräteakustik in Lübeck im Rahmen eines Vortrages und eines Posters (siehe Anhang) vor Meisterschülern, Dozenten und Studenten vorgestellt.

4. Zusammenfassung

Aus Sicht des Antragstellers wurden die Projektziele erreicht. Verschiedene Implementationen von Störgeräuschunterdrückungen wurden untersucht und verglichen. Dabei konnte ein Ansatz identifiziert werden, der ungeeignet scheint, eine wirkungsvolle Störgeräuschunterdrückung zu ermöglichen (Analyse der Harmonizität im Eingangssignal), aber auch ein vielversprechender Kandidat (Auswertung der Amplitudenstatistik zur Störgeräuschschätzung und Wiener-Filterung zur Unterdrückung), der bei einer weiteren Parameteranpassung und Verfeinerung in Zukunft klare eine klare Verbesserung des Sprachverstehens im Störschall ermöglichen könnte. Dies ist letztlich oberstes Ziel bei der Entwicklung von Hörgeräten, da in diesen Situationen der Leidensdruck für die Betroffenen am größten ist.



Hörgeräte mit Störgeräuschunterdrückung – ein Vorteil für Hörgeräteträger?

Seit einigen Jahren kommt in modernen Hörgeräten eine Störgeräuschunterdrückung zum Einsatz. Sie zielt darauf ab, Störgeräusche zu erkennen und gezielt abzuschwächen, um so den Signal-Rauschabstand (SNR) und damit das Sprachverstehen zu verbessern.

Ziel dieser Untersuchung war es zu überprüfen, wie gut das bei aktuellen Hörgeräten funktioniert. Dazu wurden Sprachverständlichkeitstests und elektroakustische Messungen durchgeführt.

Teil 1: Sprachverständlichkeitstests

Testbedingungen: 20 normalhörende Probanden, zwei

unterschiedliche Störgeräusche

(sprachsimulierendes stationäres Rauschen und moduliertes ICRA-Rauschen), Hörgeräte auf 30 dB Hörverlust fest voreingestellt, binaurale Darbietung über Ohrolive

Testmaterial: Oldenburger Satztest (OLSA)
Hörgeräte: - ReSound Metrix HdO

- Phonak Savia 211 HdO

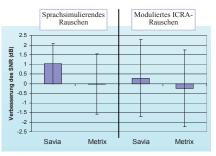




Auswertung:

Bestimmung der Verbesserung des Sprachverstehens mit eingeschalteter Störgeräuschunterdrückung (in dB SNR)

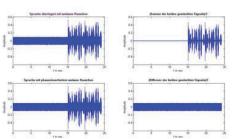
Ergebnisse:



Eine statistisch signifikante Verbesserung des Sprachverstehens (um 1 dB) konnte nur mit Savia im sprachsimulierenden Rauschen erzielt werden. Diese Verbesserung entspricht beim OLSA einem um 17% erhöhten Sprachverstehen. Alle anderen Unterschiede sind aufgrund der Streubreiten nicht signifikant.

Teil 2: elektroakustische Messungen

Prinzip Noise Reduction Index (NRI):



Das Verfahren erlaubt eine getrennte Ermittlung der Sprach- und Störpegel nach Verarbeitung durch das Hörgerät und damit der SNR-Verbesserung durch die Störgeräuschunterdrückung.

Testmaterial: ACAM-Messsystem (AHA)

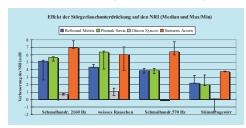
PC (Matlab 7.0.1, Adobe Audition 1.5)

Hörgeräte (HdO): a) ReSound Metrix b) Phonak Savia c) Oticon Syncro d) Siemens Acuris

Testablauf: 1. Messung mit Rauschen in Phase

2. Messung mit phaseninvertiertem Rauschen (mit und ohne Störgeräuschunterdrückung)

Ergebnisse:



Messtechnisch sind für 3 von 4 Geräten deutliche Verbesserungen im NRI nachzuweisen. Beim fluktuierenden Stimmengewirr als Störgeräusch ist der Effekt erwartungsgemäß am geringsten.

"Wasserwirtschaftliche Anlagen in der historischen Oasenstadt Tayma"

I. Gemeinsamer Forschungsantrag bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)

- Deutsches Archäologisches Institut (DAI), Orient-Abteilung, Prof. Dr. Ricardo Eichmann:
 "Archäologie der Oasenstadt Tayma: Kontinuität und Wandel der Lebensformen im ariden Nordwesten der Arabischen
 Halbinsel vom Neolithikum bis zur Islamisierung"
- Fachhochschule Lübeck (FHL), Labor für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Prof. Dr.-Ing. Matthias Grottker: "Wasserwirtschaftliche Anlagen in der historischen Oasenstadt Tayma"

II. Bisheriger Verlauf des Projektes:

- · Vorerkundung: Frühjahr 2005
- 1. Förderung: 2007
- 2. Förderung (jetzt bewilligt): 2008 und 2009, Volumen: ca. 100.000 €

III. Zusammenfassung

Im Rahmen der bisherigen Forschungsarbeiten wurden in der Oasenstadt Tayma (Saudi-Arabien) und deren Umfeld Überreste von bis zu 3000 bis 5000 Jahre alten wasserwirtschaftlichen Anlagen in großer Zahl gefunden. Erste Interpretationen der Einzelkomponenten lassen auf ein komplexes, untereinander vernetztes wasserwirtschaftliches System schließen. Dieses besteht aus Elementen des natürlichen Wasserhaushaltes sowie technischen Einrichtungen zur gezielten Nutzung in der Siedlung. Das Forschungsprojekt soll die Wechselwirkungen zwischen diesen Elementen vertiefen und die Bedeutung für das Entwicklungspotential der Oasenstadt Tayma erläutern. Dazu sollen die hydrologischen Grundlagen der Sabkha, einer ausgedehnten Salzpfanne, erarbeitet, wasserwirtschaftliche Anlagen in Tayma und vergleichbaren Siedlungen (Al Jawf und Al Ula) sowie deren Umgebung erfasst werden.



IV. Bisherige Arbeiten

Das Projektziel umfasst die Untersuchung des Konzepts der Wasserbewirtschaftung der Siedlung Tayma und das Aufzeigen der zeitlichen Entwicklung. Dazu konzentrierten sich die bisherigen wasserwirtschaftlichen Erkundungen der Kampagne im Frühjahr 2007 in erster Linie auf das direkte Umfeld des zentralen Grabungsbereichs der historischen Oasenstadt. Hier erfolgten die Analyse der hydrologischen Gegebenheiten, die Bestimmung der Wasserressource und die Untersuchung der zugehörigen mutmaßlichen hydrotechnischen Installationen sowie die Betrachtung der Hochwassergefährdung.

Eine erste Bestandaufnahme der hydrologischen Situation im Palmengarten wurde begonnen. Da die Bewirtschaftung des Palmengartens bis heute anhält und zahlreiche hydraulische Installationen aus unterschiedlichen Zeiträumen vorhanden sind, lassen sich hieraus Rückschlüsse auf die zeitliche Entwicklung des Bewirtschaftungssystems ziehen. Insbesondere die Dokumentation von unterschiedlichen Brunnentypen soll es ermöglichen Rückschlüsse und Verknüpfungen auf die Wasserversorgung des Zentralbereichs der historischen Siedlung zuzulassen.

Gleichzeitig erfolgten die ersten Arbeiten am hydrologischen System der Sabkha, um deren Entstehung und den Beginn der möglichen Bewirtschaftung der Palmenoase zu untersuchen. In diesem Zusammenhang interessieren vor allem die Zusammenhänge zwischen Oberflächenabfluss, Volumen und Wasserstand, die nicht nur für die folgende Nutzung der Palmenoase wichtig waren, sondern auch Indikator für eine mögliche Änderung der klimatischen Randbedingungen in der Region darstellen können.

Vergleiche mit anderen Oasenstädten (Al Jawf), die über ähnliche hydrologische Gegebenheiten verfügen, sollen mögliche Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede in der Entwicklung aufzeigen. Mit der Analyse der jeweiligen naturräumlichen Gegebenheiten sollen die daraus resultierenden Ähnlichkeiten und Besonderheiten, bezogen auf das jeweilige wasserwirtschaftliche System, dargestellt werden. Hierdurch soll neben dem zeitlichen Verlauf auch ein räumlicher Überblick gegeben werden, so dass die Wechselwirkungen des Wasserbewirtschaftungssystems der Oasenstadt mit seiner Umgebung verdeutlicht werden können.



Abb. 2: Historischer und moderner Brunnen im Palmengarten

V. Geplante Arbeiten

In den folgenden zwei Jahren soll vor allem die Wasserbewirtschaftung des zentralen Bereichs (Qraya) umfassend untersucht werden. Insbesondere soll eine Zusammenstellung der wasserwirtschaftlichen Anlagen, deren Funktion und Zustand sowie deren Bedeutung für die historische Oasenstadt erfolgen und in einem Bewirtschaftungskonzept dargestellt werden.

Des Weiteren soll die Hydrologie des Palmengartens untersucht werden. Die für die erweiterte landwirtschaftliche Versorgung erforderliche Bewässerung des Palmengartens ist hinsichtlich der demographischen Entwicklung der Siedlung bedeutsam. Die Abtrennung zur Sabkha mittels eines Erdwalls spielt eine weitere wichtige Rolle zum Verständnis des wasserwirtschaftlichen Systems.

Das hydrologische System der Sabkha soll als natürliche Grundlage der Bewirtschaftung erforscht werden. Die Aufnahme einer Volumen–Höhen–Beziehung kann eine wichtige Grundlage für die Interpretation der zeitlichen Entwicklung des Klimas und damit der Versalzung der Sabkha spielen. Das Sinken des Wasserspiegels im Salzsee hat dominanten Einfluss auf die Bewirtschaftung des Palmengartens.

Im gesamten Bereich nordwestlich der historischen Oasenstadt sind vielfältige Strukturen zu beobachten, die auch eine wasserwirtschaftliche Bedeutung haben können. Die Erkundung umfasst hierbei insbesondere die vermessungstechnische Aufnahme und eine erste grobe Interpretation.

Letztendlich soll die Wechselwirkung des Wasserbewirtschaftungssystems mit der Oasenstadt und ihrer Umgebung beurteilt werden. Dieses Ziel kann besonders gut vor dem Hintergrund anderer Oasenstädte wie Al Jawf oder Al Ula bearbeitet werden.



Abb. 3: Versalzene Flächen in der Sbkha

Kompetenz in Kunststoffen Firmenportrait des Kunststoff-Kompetenzzentrums in Lübeck

Olaf Jacobs, Andreas Hof

Kunststoffprodukte werden in verschiedenen Branchen – von der Medizintechnik über den Maschinen-, Schiffs- und Anlagenbau bis hin zur Elektrotechnik – eingesetzt.

Das Kunststoff-Kompetenzzentrum (KuK) hat es sich mit seiner Gründung im Jahr 2005 zur Aufgabe gemacht, den regional ansässigen Unternehmen mit neuen Ideen, Innovationen und Problemlösungen rund um das Thema Kunststoffe zur Seite zu stehen. Unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Olaf Jacobs arbeiten vier Ingenieure an aktuellen Projekten und Auftragsarbeiten – stets in engem Kontakt zu den Auftraggebern.

Ständige Innovation, hohe Qualität und rasche Reaktion auf Markterfordernisse sind heute wichtiger denn je. Die kleinen und mittleren Unternehmen in Schleswig-Holstein sind sehr flexibel und kundenorientiert. Aufgrund ihrer Betriebsgröße haben sie jedoch zumeist nur geringe F&E-Kapatizäten. Das KuK schließt diese Lücke und ermöglicht als zuverlässiger und kompetenter Partner die Durchführung von F&E-Projekten aber auch qualitätssichernden und -verbessernden Maßnahmen in Form von Auftragsarbeiten oder Kooperationsprojekten.

Die Nähe des KuK zur Fachhochschule Lübeck und die damit verbundenen Möglichkeit, auf die sehr umfangreichen Laborkapazitäten der Fachhochschule zurückgreifen zu können, ermöglicht insbesondere kleineren Unternehmen der Region die Nutzung externer F&E- sowie Prüfkapazitäten.

schnell – kompetent – zuverlässig – diskret

Hauptgeschäftsfelder des KuK sind die thermische, thermo-mechanische und optische Analytik, sowie rheologische und mechanische Prüfung von Kunststoffen aber auch Reibungs- und Verschleißprüftechnik. Des Weiteren bietet das KuK die Verarbeitung von Kunststoffen in verschiedenen Spritzgussmaschinen, Laborextruder und Kneter; dadurch ist auch die Möglichkeit der Entwicklung maßgeschneiderter Kunststoff-Compounds zur Anpassung an verschiedene Anwendungen möglich. Die Rechnerausstattung des KuK ermöglicht neben der Konstruktion von Kunststoffbauteilen auch die Simulation des Verarbeitungsprozesses, so dass bereits im Vorweg Schwachstellen der Konstruktion und Fertigungsplanung aufgedeckt und ihnen entgegengewirkt werden können.

Aber nicht nur auf dem Gebiet thermoplastisch zu verarbeitender Kunststoffe, sondern auch auf dem der Faserverbundwerkstoffe bietet das KuK Unterstützung bei Werkstoffauswahl und Konstruktion.

Typische Fragestellungen an die Analytik sind zum Beispiel: "Woraus besteht das Material?", "Wie verhält sich das Material nach thermischer oder chemischer Beanspruchung?" oder auch "Was ist der Grund dafür, dass das Material bestimmte Anforderungen nicht (mehr) erfüllt?". Die Laborausstattung des KuK bietet dazu eine Vielzahl analytischer Möglichkeiten, um Verunreinigungen oder Fremdmaterialien und Schädigungen durch Verarbeitung oder Lagerung zu erkennen und bewerten zu können. Eine umfassende Datenbank ermöglicht die Schnellerkennung unbekannten Materials mittels Infrarot-Spektroskopie.

Das KuK unterstützt ebenfalls bei der Produktentwicklung – von der Idee über die Abwicklung von Prüf- und Konstruktionsaufträgen bis hin zum fertigen Produkt wird dort alles aus erster Hand bearbeitet. Die Unternehmen werden bei der oftmals schwierigen Auswahl des richtigen Werkstoffs für die jeweilige Anwendung unterstützt und erhalten Hinweise und Tipps für die werkstoffgerechte Verarbeitung, um daraus für zukünftige Anwendungen und Vorhaben zu profitieren.

Werkstoffe für tribologische Anwendungen, d.h. für Fälle, in denen besonders Reibung und Verschleiß eine wichtige Rolle für die Bauteil- und Systemfunktion spielen bietet das KuK Unterstützung bei der Prüfung und Entwicklung verschleiß- und reibungsoptimierter Kunststoffe. Dazu stehen verschiedene Prüfgeräte zur Verfügung, sowie Verarbeitungsgeräte, die die Herstellung derartiger Compounds im Labormaßstab ermöglichen.

Darüber hinaus bietet das KuK in regelmäßigen Abständen Schulungen, Informations-veranstaltungen und Seminare zu kunststoffspezifischen, aber auch branchenübergreifenden Themen an.

Nächster Termin ist ein Seminar zur Einführung in die Kunststofftechnik, welches vom 9. bis 10. September 2008 in Lübeck stattfindet und sich vorrangig an Konstrukteure und technische Kaufleute mit geringen Vorkenntnissen in der Kunststofftechnik richtet. (weitere Informationen dazu im Internet unter www.kuk-sh.de).

2007 erhielt das KuK im Wettbewerb "Austauschprozesse zwischen Unternehmen und Hochschulen" den Förderpreis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung für das bisher einzigartige Konzept des Aufbaus eines nachfrageorientierten Dienstleistungszentrums innerhalb einer Fachhochschule, welches sich nach Ablauf der Projektförderung Ende 2008 selbst finanzieren wird.

Kontaktadresse:

Kunststoff-Kompetenzzentrum - KuK Mönkhofer Weg 239 23562 Lübeck

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Hof

Tel. 0451 - 300-5323

Fax 0451 - 300-5037

E-Mail: hof@fh-luebeck.de

Internet: http://www.kuk-sh.de

Neue Bücher

vorgestellt von Henning Schwarz

Olympia, Peking, 2008! Der Beste gewinnt, Weltrekord reiht sich an Weltrekord, eine Medaille entschädigt für jahrelange Vorbereitung; Begabung, hartes Training, Fleiß und Einsatzfreude bilden den Nährboden des Erfolgs, der gedüngt von öffentlicher Förderung, optimalen Trainingsbedingungen und einer uneingeschränkten Publikumsresonanz die Talente reifen läßt. Paradiesische Verhältnisse also im Vergleich zur Situation an Deutschlands Hochschulen, die von der öffentlichen Hand gezwungen, Masse statt Klasse zu produzieren, im permanenten, globalen Wettkampf kaum noch die Qualifikation schaffen.

Hinweise auf Neuerscheinungen können die allgemeine Krise natürlich nicht beheben, sie mögen hier vielmehr dem Einzelnen eine hoffentlich nützliche Anregung sein, den Geist auch außerhalb der Hörsäle zu schärfen.

Mathematik

Grinberg, Natalia

Lösungsstrategien; Mathematik für Nachdenker

Deutsch, Frankfurt/M

1. Auflage 2008, 215 Seiten, € 18,00

ISBN: 978-3-8171-1790-1

Die Mathematikvorlesung namentlich ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge gerät vielfach zum Vortrag mathematischer Methoden, die mehr oder weniger ausreichend geübt zum Handwerkszeug gehören. Das Verständnis der Zusammenhänge aber bedarf des mathematischen Beweises. Das Verdienst der Autorin, russischer Herkunft, wie man vermuten darf, ist es, in ihrem gedrängten übersichtlichen Band die wesentlichen Beweismethoden und damit auch die mathematischen Denkweisen anhand einer Fülle von teils sehr eindrucksvollen Beispiele zu demonstrieren. "In Deutschland gibt es kein flächendeckendes Angebot an mathematischer Talentförderung…" liest man zustimmend im Vorwort, das Buch soll hier wohl einen Beitrag leisten, wobei der kritische Grundton des gesamten Vorworts nicht zu überlesen ist.

Der Inhalt wird in 11 Kapitel gegliedert. Angefangen bei "elementaren Beweismethoden" über geometrische Abbildungen und elementare Zahlentheorie reicht das Angebot bis hin zu "Polynome(n)" und "Kombinatorik und erzeugende Funktion". Die Abbildungen sind durchweg sehr anschaulich, der ist Text von erfreulicher Klarheit, einige Druckfehler schaden dem Verständnis nicht. Hilfreich für die Lektüre wäre eine Zusammenstellung und Erläuterung der verwendeten Fachbegriffe. Einzig der Untertitel "Mathematik für Nachdenker" wirkt deplaciert, denn einerseits ist eine Mathematik für Nicht-Nachdenker schwerlich vorstellbar, andererseits ist wissenschaftliche Literatur ohnehin nur etwas für den denkenden, konkret den mitdenkenden Leser. Ganz nebenbei gelingt der Autorin mit der Auswahl und Darstellung der Inhalte auch ein Stück bester Unterhaltung für Liebhaber. Für den Studienanfänger ein lesenswerter Einstieg in sein Studium.

Fischer, Gerd:

Lehrbuch der Algebra

Vieweg, Wiesbaden

1. Auflage 2008, 404 Seiten, € 34,90

ISBN: 978-3-8348-0226-2

lichen Inhalten gelöst werden.

Bücher zum Thema "Algebra" sind an dieser Stelle verschiedentlich vorgestellt worden und es mag verwundern, daß dieser Reihe ein weiteres hinzugefügt wird, noch dazu eines, das hauptsächlich für Studenten der Mathematik gedacht ist. Der Hinweis aber dürfte gerechtfertigt sein. Die übliche Systematik der Inhalte "Gruppen, Ringe, Körper" wird vom Autor mit zahlreichen Beispielen aufgelockert. Hervorzuheben sind auch die eingestreuten historischen Zitate und Hinweise, die geeignet sind, dem Leser auch die historische Dimension der Thematik näher zu bringen, etwa in III, §6, wo zu Beginn ganz leicht verstehbare, bereits in der Antike formulierte Probleme präsentiert werden, die dann mit den dargestellten, neuzeit-

Der Autor schlägt zudem durch Kennzeichnung einzelner Abschnitte einen "Minimalkanon für den Bachelor" vor, eine leider notwendig gewordene Notlösung, die keines Kommentars bedarf. Durch die Abgeschlossenheit der einzelnen Kapitel ist das Buch auch für Anwender und auch als Nachschlagewerk geeignet.

Meister, Andreas:

Numerik linearer Gleichungssysteme

Vieweg, Wiesbaden

3. Auflage 2008, 246 Seiten, 34 Abbildungen, € 29,90

ISBN: 978-3-8348-431-0

Es ist eine Binsenweisheit: PC stehen mit enormer Rechenleistung inzwischen an jedem Arbeitsplatz und so können im Wege der Simulation ganze Systeme von Differentialgleichungen für die verschiedensten Anwendungen gelöst werden. Weit weniger bekannt sind die Methoden, mit denen die entstehenden, riesigen Gleichungssysteme numerisch gelöst werden. Hier schließt der Autor mit seinem Band über die "Numerik linearer Gleichungssysteme" eine vielfach bestehende Lücke, fällt doch das Kapitel "numerische Mathematik" im Verlaufe eines Studiums meist dem Rotstift zum Opfer. Begriffe wie "Jacobi-", "Gauß-Seidel-Verfahren", "GMRES", oft nur als Schlagworte benutzt, werden vom Autor mit Inhalt gefüllt. Nach einem mehr einleitenden Kapitel über die "Grundlagen der linearen Algebra", das ganz allgemein Beachtung verdient, werden die diversen Verfahren und Methoden zur Lösung großer linearer Gleichungssysteme vorgestellt und erläutert. Übungsaufgaben und ein Anhang mit "Implementierungen in MATLAB" runden die Darstellung ab. Dem Autor gelingt mit seinem Buch das Kunststück, einerseits diejenigen anzusprechen, die in der Materie arbeiten, andererseits profitiert auch derjenige Leser, der etwa am Arbeitsplatz sich schnell einmal sachkundig machen und wissen möchte, "was tut denn das Verfahren xy?". Empfehlenswert!

Fischer, Helmut; Kaul, Helmut

Mathematik für Physiker

Band 2: Gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen, mathematische Grundlagen der Quantenmechanik

Teubner, Wiesbaden

3. Auflage 2006, 244 Seiten, , € 44,90

ISBN: 978-3-8351-02333-0

Wenn es, wie oben erwähnt, dem Anwender problemlos möglich ist, Differentialgleichungen numerisch zu lösen, dann steht es eben diesem Anwender gut an, sich im Reich dieser Herrscherin der Physik auszukennen. Dazu existiert inzwischen eine große Fülle ausgezeichneter Literatur, über die an dieser Stelle auch verschiedentlich berichtet werden konnte. Der von den Autoren Helmut Fischer und Helmut Kaul, beides Physiker, vorgelegte Band 2 der Reihe "Mathematik für Physiker" zeichnet sich zunächst dadurch aus, daß hier auf engem Raum eine enorme Menge an Information geboten wird, eine große Bandbreite an Themen, die auch für den Ingenieur als Anwender interessant und als Fundament seiner Methoden von Bedeutung sind. Behandelt werden dem Titel gemäß gewöhnliche Differentialgleichungen, partielle Differentialgleichungen, Systeme von Differentialgleichungen. Hervorzuheben ist ein vergleichsweise ausführliches Kapitel über "Hilfsmittel aus der Analysis", wo der Leser beispielsweise in erstaunlicher Kürze Grundlegendes u. a. zum Lebesgue-Integral oder zu Distributionen findet. Die eingestreuten Übungsaufgaben erlauben eine Vertiefung der Inhalte, sind teilweise sogar von ganz praktischer Natur (Seite 400). Etwa die Hälfte des Buches ist der Quantenmechanik gewidmet. Auch wenn der eine oder andere diesen Teil vielleicht weglassen möchte, die Lektüre lohnt sich. Nach einer einleitenden Darstellung der mathematischen Probleme der Quantenmechanik, sehr informativ, folgen Abschnitte über "Maß und Wahrscheinlichkeit" und über die "Integration bezüglich eines Maßes". Die letzten fünf Kapitel sind Operatoren gewidmet. Insgesamt ein Band, der Vieles bietet, ohne sich in Vielerlei zu verlieren, und das bei einem ausgezeichneten Preis/Leistungsverhältnis.

Kühnel, Wolfgang

Differentialgeometrie

Vieweg, Wiesbaden

4. Auflage 2008, 280 Seiten, € 29,90

ISBN: 978-3-8348-0411-2

Jeder von uns dürfte irgendwie irgendwann einmal mit Kurven und Flächen zu tun haben. Ob mit Kurven, die man durchfährt, mit Flächen, über die man integriert, ob mit Krümmung oder Torsion, immer hat man Gebilde in einem Raum vor sich. Wer sich genau informieren will, der hat mit dem Buch von Wolfgang Kühnel eine anschauliche, mit vielen Bildern gleichsam gewürzte Darstellung zur Hand. Ausgehend von Kurven im Euklidschen Raum über "lokale Flächentheorie" und die "innere Geometrie von Flächen" reicht der Inhalt bis zu gekrümmten Räumen. Dabei versteht es der Autor, die Inhalte so nachvollziehbar und prägnant zu präsentieren, daß der Leser nie das Interesse an der Lektüre verliert. Er nimmt ihn geschickt an die Hand und ergänzt seine Ausführungen mit etlichen Beispielen. Eine wesentliche Erweiterung gerade auch für den anwendungsorientierten Leser.

Stahel, Werner:

Statistische Datenanalyse

Vieweg, Wiesbaden

5. Auflage 2008, 418 Seiten, 147 Abbildungen, € 33,90

ISBN: 978-3-8348-0410-5

Unser tägliches Leben ist u. a. geprägt durch Daten. In Zahlen gefaßt werden sie nicht selten zu Fakten hochstilisiert, die schon deswegen als unantastbar richtig hingestellt werden, weil es sich ja um erfaßte Daten handelt. Umso wichtiger scheint es daher, sich mit der Handhabung und Analyse von Daten gleich welcher Art zu beschäftigen. Anders als üblich beginnt der Autor nicht mit einer Präsentation der Wahrscheinlichkeitsrechnung, sondern mit einem Abschnitt über "beschreibende Statistik, in dem er ein- und mehrdimensionale Stichproben erläutert. Erst dann, nachdem er deren Notwendigkeit verdeutlicht hat, geht es zur Wahrscheinlichkeitsrechnung und zu diskreten und stetigen Verteilungen. Im dritten Abschnitt folgt zwangsläufig die "schließende Statistik" und zum Schluß werden "Methoden der Datenanalyse" vorgestellt. Jeder Abschnitt schließt mit einer Zusammenfassung und Literaturangaben, ein ausführliches Literaturverzeichnis findet sich am Schluß. Das Buch kann jedem, der mit der Erfassung und Verarbeitung von statistischen Daten zu tun hat, uneingeschränkt empfohlen werden. Auch der interessierte Laie wird von der Lektüre profitieren.

Swoboda, Joachim; Spitz, Stephan; Pramateftakis, Michael

Kryptographie und IT-Sicherheit

Vieweg+Teubner, Wiesbaden

1. Auflage 2008, 265 Seiten, € 29,90

ISBN: 978-3-8348-0248-4

Daß elektronisch erhobene Daten, und sei es auch nur durch kriminelle Machenschaften, früher oder später in falsche Hände geraten können, ist eine nicht erst durch die jüngsten Ereignisse belegte Tatsache. Gelegenheit macht Diebe. Für den Benutzer elektronischer Medien kommt es darauf an, Dieben keine Gelegenheit zu bieten und das wiederum bedeutet, grundsätzlich keine Daten unverschlüsselt weiterzugeben. Jeder Teilnehmer an unserer multimedialen Kommunikationswelt ist somit gut beraten, sich mit Verschlüsselungstechniken und den ihnen zugrundeliegenden Ideen und Techniken auszukennen. Das hier vorzustellende Buch kann, um es vorwegzunehmen, daher jedem zur Lektüre empfohlen werden, der nolens volens die modernen Kommunikationseinrichtungen nutzt. Den Autoren gelingt das Kunststück, einerseits den interessierten Laien in die Thematik einzuführen, ohne daß er die zahlentheoretischen Hintergründe im einzelnen nachvollziehen müßte. Wer mit Zahlen ein wenig umgehen kann, der erhält eine Fülle von Antworten auf die Fragen nach Aufbau und Funktion von Verschlüsselungstechniken. Nach einem einleitenden Abschnitt über "Ziele und Wege der Krypthographie" werden im weiteren Verlauf folgende Themen behandelt:

- Symmetrische Chiffren
- Hash-Funktionen
- Asymmetrische Chiffren
- Authentifikationsprotokolle
- Sicherheitsprotokolle und Schlüsselverwaltung
- Chipkarten und Sicherheitsmodule

Ein erfreulich umfangreiches Abkürzungsverzeichnis sowie eine Liste mit der deutschen Übersetzung der gängigen englischen Fachausdrücke erleichtern die Lektüre ebenso wie die zahlreichen Abbildungen.. Eine lohnende, stellenweise sogar unterhaltende, in jedem Fall lehrreiche Lektüre für den Leser, der ohne Frage zukünftig vorsichtiger mit seinen Daten umgehen wird. Denn mit der Weitergabe vor allem persönlicher Daten ist es wie mit dem Überholen im Straßenverkehr: Im Zweifel nie.

Elektrotechnik

Kallenbach, Eberhard; Eick, Rüdiger; Quendt, Peer; Ströhla, Tom; Feindt, Karsten; Kallenbach, Matthias

Elektromagnete

Vieweg+Teubner, Wiesbaden

3. Auflage 2008, 402 Seiten, 277 Abbildungen, € 42,90

ISBN: 978-3-51-0138-8

Was ein Elektromagnet ist, weiß eigentlich jeder. Wo überall diese Komponente in unserem technischen Alltag zu finden ist, dürfte weit weniger bekannt sein. Üblicherweise fristet das Thema "Elektromagnet" in einem elektrotechnischen Studium eher ein Schattendasein und es ist fraglos verdienstvoll von Autoren und Verlag, mit dem vorliegenden Band dem entgegenzuwirken. Der Inhalt ist dreigeteilt: Nach einleitenden Abschnitten über den "Grundaufbau von Elektromagneten (...)" und die "Grundgesetze des magnetischen Feldes" folgen sehr gründliche Kapitel über die "Berechnung des magnetischen Feldes von Elektromagneten" und deren dynamischen Verhalten. Ein Kapitel zur Berechnung der Erwärmung schließt diesen allgemeinen Teil ab. Die zweite Hälfte des Buches ist Anwendungen gewidmet. Hier werden Schrittmotore und elektromagnetische Antriebe behandelt. Schließlich folgen je ein Kapitel zu "spezielle(n) Magnetkonstruktionen" und "magnetische Mikroaktoren". Insgesamt eine sorgfältige, äußerst informative Darstellung eines vermeintlichen Randthemas, der zudem die Studentenversion des Magnetfeldberechnungsprogramms "Maxwell" auf CD-ROM beigegeben ist. Die in Textmitte (Seite 45) eingestreute Reklame ist deplaciert und mit Blick auf den nicht gerade geringen Ladenpreis befremdlich, zumal die Anzeige nicht heraustrennbar ist, auf der Rückseite des Blattes geht der Text weiter (Seite 46).

Borgeest, Kai

Elektronik in der Fahrzeugtechnik

Vieweg, Wiesbaden

1. Auflage 2008, 346 Seiten, 155 Abbildungen, € 36,90

ISBN: 978-3-8348-0207-1

Das Auto als fahrbaren Computer zu bezeichnen, ist sicherlich maßlos übertrieben, dennoch hat in den zurückliegenden Jahrzehnten die Elektronik unaufhaltsam Einzug gehalten, sodaß Kenntnisse über Aufbau und Funktion der Bordelektrik für jeden Autofahrer nützlich sind. Das vorliegende Buch von Kai Borgeest kann allein schon deswegen empfohlen werden. Der Autor zeigt nach einer allgemeinen Einführung in die "Bordelektrik" am Beispiel einer "elektronische(n) Dieselsteuerung" sehr eindrucksvoll die Aufgaben, Probleme und Lösungen des Systems, bevor er zu Bussystemen, Hardware und Software gelangt. Interessant ist auch das Kapitel über "Projekte, Prozesse und Produkte", in dem der Leser einen Einblick in die Denkweisen der Branche erhält. "Sicherheit und Zuverlässigkeit" und "Anwendungen" sind zwei weitere Kapitel des Bandes, der mit Abschnitten über "Selbstbau und Tuning" sowie Zukunftstechnologien schließt. Hilfreich für die Lektüre sind ein Abkürzungs- und Literaturverzeichnis, ein detailliertes Sachwortverzeichnis unterstützt die Suche nach Einzelheiten. Dem Autor gelingt es, die an sich verwickelte Thematik sehr plastisch und anwendungsnah darzustellen, sodaß

jeder unabhängig von den Vorkenntnissen der Darstellung folgen kann. Hinsichtlich der reichlich eingestreuten Reklame gilt das oben Gesagte: deplaciert und überflüssig.

Oertel jr., Herbert (Hrsg.)

Prandtl-Führer durch die Strömungslehre

Vieweg+Teubner, Wiesbaden

12. Auflage 2008, 770 Seiten, 527 Abbildungen, € 88,00

ISBN: 978-3-8348-0430-3,

Π άντα ; ε; möchte man mit Heraklit sagen, obwohl der alte Meister nicht die Tatsache gemeint hat, daß der Mensch in Natur und Technik auch des Alltagslebens von Strömungsphänomenen umgeben ist, ohne sich vielfach dessen bewußt zu werden. Ob das Wettergeschehen im Großen, die Bewegung eines Autos oder Flugzeugs in Luft, das Fließen von Wasser, selbst der Blutkreislauf, all dies sind Erscheinungen, bei denen ein Medium strömt. Der Begründer der modernen Strömungslehre ist Ludwig Prandtl, dessen Buchveröffentlichungen von 1913 und 1931 die Grundlage für das nunmehr in 12. überarbeiteter und erweiterter Auflage vorliegende Werk bilden. Die Herausgeber präsentieren dem Untertitel entsprechend "Grundlagen und Phänomene" in einer erstaunlichen Bandbreite mit einer Fülle von Bildern, Skizzen und Fotos. Nicht nur der Fachmann findet hier eine profunde Beschreibung der verschiedenartigsten Erscheinungen, auch der Laie wird dieses Buch mit Gewinn zur Hand nehmen. Ein aktuelles Standardwerk mit langer Tradition.

Weglage, Andreas (Hrsg.)

Energieausweis- Das große Kompendium

Vieweg+Teubner, Wiesbaden

2. Auflage 2008, 499 Seiten, 84 Abbildungen, € 49,90

ISBN: 978-3-8348-0443-3

Es geht uns alle an: Heizen ist teuer und Energie-Einsparmaßnahmen sind das Gebot der Stunde. Der Gesetzgeber schreibt denn auch ab 2009 einen Energieausweis für jedes Gebäude vor. Jeder Eigenheimbesitzer, jeder Häusle-Bauer ist also gut beraten, sich mit diesem Thema, das nicht nur eine technische, sondern auch eine juristische Komponente hat, auseinanderzusetzen. Insbesondere die Vielzahl der bestehenden Vorschriften erschwert diese Auseinandersetzung, und so stellt das vorliegende Buch eine wertvolle Hilfe für die Erarbeitung dieser Thematik dar. Die Autoren beantworten zunächst die Frage "Was ist der Energieausweis?" bevor sie, hilfreich besonders für Laien, eine Einführung in die "praktische Erstellung des Energieausweises" mit einem Berechnungsbeispiel geben. Es folgen Kapitel zur Bautechnik und Qualitätssicherung. In einem umfangreichen Kapitel werden dann die rechtlichen Grundlagen unter Einschluß von Haftungsfragen zusammengestellt. Den Schluß bildet ein detaillierter Anhang. Hervorzuheben ist hier ein "Lexikon" genannter Abschnitt, in dem Fachbegriffe des energiesparenden Bauens erläutert werden. Alles in allem in der Tat ein großes Kompendium, das geeignet ist, teure Fehlentscheidungen nicht nur bei Neubau und Sanierung zu vermeiden.

Karger, Rosemarie; Cord-Landwehr, Klaus; Hoffmann, Frank

Wasserversorgung

Vieweg+Teubner, Wiesbaden

13. Auflage 2008, 333 Seiten, zahlreiche Abbildungen , € 34,90

ISBN: 978-3-8351-0213-2,

Wasser ist ein Lebensmittel, das weltweit knapp ist, auch wenn wir diese Knappheit in unseren Breiten (noch) nicht spüren. Nicht umsonst steht die Expo 2008 in Zaragoza unter dem Motto "Wasser" und das Handelsblatt titelt (20. 4. 08) "Chinas Boom läuft aus. Latente Wasserknappheit ist (…) ernstes Risiko für Asiens Volkswirtschaften. Grund genug also, sich mit dem Thema "Wasserversorgung" auseinanderzusetzen. Woher kommt eigentlich unser Trinkwasser, wie wird es aufbereitet, wie verteilt? Fragen, die die Autoren mit dem nunmehr in 13. Auflage erschienenen Buch auf gedrängtem Raum kompe-

tent, anschaulich und mit Hilfe vieler Bilder, Zeichnungen und Tabellen beantworten. Im Verlauf der Lektüre wird einmal mehr deutlich, daß es sich bei unserem Trinkwasser im Wortsinn um ein kostbares Naß handelt, das keineswegs von selbst in immer gleichbleibender, hoher Qualität aus dem Hahn fließt. Die einzelnen Kapitel bieten ein große Fülle an Information für den Fachmann, aber auch der Laie erhält wertvollen Einblicke in die komplizierte Welt einer vermeintlichen Selbstverständlichkeit.

Schließlich und endlich seien die Neuauflagen folgender Standardwerke der freundlichen Aufmerksamkeit unserer Leser empfohlen:

Frohne, H. et alt.: Moeller Grundlagen der Elektrotechnik; Franz, J.: EMV; Magnus, K. et alt.: Schwingungen: sämtlich erschienen bei Vieweg+Teubner, Wiesbaden.

Impressum



Herausgeber:

Präsidium der Fachhochschule Lübeck Mönkhofer Weg 239 23562 Lübeck www.fh-luebeck.de

Layout & Endredaktion:

Abt. IV - Kommunikation, Kooperation und Marketing Fachhochschule Lübeck

Tel.: 0451-300 53 05 Fax: 0451-300 54 70

e-mail: presse@fh-luebeck.de

Verlag:

campus medien gmbH Glinde 24 23843 Bad Oldesloe www.campus-medien-gmbh.de

Anzeigen:

beim Verlag

Druck:

Druckhaus Texxus GmbH Steinmetzstr. 1 23556 Lübeck

Auflage:

600 Exemplare

ISSN 1618-5528

Notizen		





Seit über 25 Jahren der Makler Ihres Vertrauens für:



- Kreditversicherung
- Bürgschaften / Avale
- Absatzfinanzierung / Factoring
- Debitorenmanagement
- Forderungseinzug

Rösch & Lindschau ist ein Geschäftsfeld der Aon Credit International Insurance Broker GmbH Bubenheimer Str. 15 * 55270 Schwabenheim * Tel.: 06130 / 2330-0 * Fax: 06130 / 2330-5830 Internet: http://www.roesch-lindschau.de



IMMER MITTEN DRIN.

Sie wollen hier bei uns auf dem Laufenden sein und sich über Wissenswertes aus Politik, Wirtschaft, Kultur, Sport und Veranstaltungen informieren? Dann ist das Studenten-Abo der Lübecker Nachrichten genau das Richtige für Sie! Zum Vorzugspreis von z. Zt. 11,05 Euro bekommen Sie täglich schwarz auf weiß die aktuellen Nachrichten serviert. Ganz einfach: LN-Abo@LN-Luebeck.de

