

Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften

Nachhaltigkeit und Innovation

*Kolloquienreihe anlässlich des 40-jährigen Jubiläums
der Universität der Bundeswehr München 2013*

Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften

Nachhaltigkeit und Innovation

Die omnipräsente Forderung, nachhaltig mit der Umwelt und den natürlichen Ressourcen umzugehen, betrifft viele Aufgabengebiete der Bauingenieure und Umweltwissenschaftler.

In drei Themenblöcken widmet sich das Kolloquium der Vielfalt der Herausforderungen und zeigt auf, welche Innovationen sich bei der Auseinandersetzung mit diesen Herausforderungen ergeben. Der Themenblock „Infrastruktur“ geht auf die Umsetzung von Fragen der Nachhaltigkeit bei Planung und Bau von Ingenieurbauwerken für die allgemeine Infrastruktur und insbesondere die Verkehrsinfrastruktur ein. Mit den Anforderungen an den Hoch- und Ingenieurbau beim Neubau und beim Erhalt von Bestandsbauten befasst sich der zweite Themenblock. Die Tagung schließt mit einem Plädoyer für eine nachhaltige Bauingenieur(aus)bildung unter der Überschrift „Umwelt und Ausbildung“.

→ www.unibw.de/bau

Grußwort der Präsidentin

Prof. Dr. Merith Niehuss



Sehr geehrte Damen und Herren,

im Jahr 2013 feiert die Universität der Bundeswehr München ihr 40-jähriges Bestehen und ich freue mich, dass Sie mit uns an diesem Jubiläumsjahr teilhaben.

40 Jahre im Leben einer Universität erscheinen nicht viel zu sein, dennoch sieht die Universität der Bundeswehr München bereits auf eine ereignisreiche Geschichte zurück. Gegründet im Zuge der gesamtgesellschaftlichen Bildungsoffensive in den frühen 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts eröffnen die Universitäten der Bundeswehr seit 1973 Soldaten, ab 2001 auch weiblichen Soldaten, die Möglichkeit, staatlich voll anerkannte Hochschulabschlüsse zu erwerben. Die akademische Bildung prägt nunmehr das Bild des Offiziers in der Bundeswehr und integriert unsere Alumni erfolgreich in die zivile Gesellschaft, in die der überwiegende Teil bereits in jungen Jahren zurückkehrt.

Von Anbeginn richtete die Universität der Bundeswehr München deshalb ihr Augenmerk auf die höchst mögliche Qualität des Studienangebots. Auch der Bologna-Prozess wurde in diesem Sinne an der Universität äußerst erfolgreich genutzt. Im Zuge dessen wurden bestehende Studiengänge modernisiert und neue

Forschungsfelder erschlossen. Neue Studiengänge an unserer Universität folgen immer auch neuen Forschungsschwerpunkten. So sind die unmittelbare Forschungsanbindung unserer Studierenden und die Reputation unserer Universität gewährleistet.

Als Campusuniversität bieten wir insbesondere in der Vernetzung interdisziplinärer Forschungsansätze ideale Rahmenbedingungen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Fakultäten und Fachrichtungen vereinen sich und präsentieren so gemeinsam Spitzenerfolge. Diese Entwicklung gipfelte ab 2012 in der Gründung von vier Forschungszentren, die alle jedem deutschlandweiten Wettbewerb mühelos standhalten: MIRA, MOVE, RISK und CODE.

In diesem Sinne war es der Universität der Bundeswehr München ein Anliegen, sich im Jubiläumsjahr auch mit ihrer starken Forschung zu präsentieren. Realisiert wurde dieses Anliegen durch wissenschaftliche Kolloquien der einzelnen Fakultäten zum Thema „Innovation und Nachhaltigkeit“, die von Mai bis Dezember 2013 stattfanden. Beim Lesen des vorliegenden Bandes der dazu entstandenen Publikationsreihe wünsche ich Ihnen eine angenehme und erhellende Lektüre.



Grußwort des Vizepräsidenten für Forschung

Prof. Dr. Berthold Färber

„Innovation und Nachhaltigkeit“ sind die Leitgedanken der Kolloquienreihe, die die Universität der Bundeswehr München anlässlich ihres 40-jährigen Bestehens veranstaltet. In zehn von den Fakultäten getragenen wissenschaftlichen Symposien wollen wir aufzeigen, wo die Universität der Bundeswehr München 40 Jahre nach ihrer Gründung steht, welche Herausforderungen wir für die Zukunft sehen und wie wir dazu beitragen wollen und können, diese zu meistern.

Ein verkürztes Verständnis von Innovationen beschränkt sich meist auf technische Innovationen wie beispielsweise Smart Phones, Elektroautos oder Satellitenkommunikation. Technische Neuerungen bringen jedoch auch Verhaltensänderungen mit sich und umfassen daher auch persönliche und gesellschaftliche Aspekte. Nur wenn technische und gesellschaftliche Weiterentwicklung im Einklang stehen, dient der Fortschritt dem Wohle aller; nur dann gilt, was Richard von Weizsäcker formulierte: „Fortschritt ist Veränderung, die wir uns wünschen.“

Aber wie entstehen Innovationen und von wem gehen sie aus? Innovationen erfordern Menschen, die unvoreingenommen und kreativ an Probleme heran gehen. Innovationen setzen aber auch grundlegende Kenntnisse und Erfahrungen voraus, die in der Ausbildung vermittelt werden müssen, und brauchen Rahmenbedingungen, die ihre Entfaltung fördern. In der engen Zusammenarbeit zwischen Studierenden, Forschenden und Lehrenden entstehen an Universitäten neue Ideen. Gerade kleine Universitäten mit überschaubaren Strukturen und direktem Kontakt zwischen Lehrenden und Studierenden bieten dafür oft ideale Bedingungen. An der Universität der Bundeswehr München schaffen diese Rahmenbedingungen – unterstützt durch die interdisziplinäre und fakultätsübergreifende Kooperation von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen in den vier Forschungszentren der Universität – ein Forschungsumfeld, das den „Blick über den Tellerrand“ ermöglicht, neue Ideen beflügelt und die Umsetzung von Innovationen vorantreibt.

Zusammen mit dem Streben nach Verbesserungen leitet der Gedanke der Nachhaltigkeit die universitäre Forschung. Speziell in der Grundlagenforschung geht und ging es nie um kurzfristige Effekte, sondern stets um die – manchmal mühsame – Weiterentwicklung von Wissen. Nachhaltigkeit in der universitären Lehre bedeutet insbesondere: Wir müssen und wollen nachhaltig ausbilden, also nicht nur Wissen, sondern vor allem Kompetenzen vermitteln, die dem Wissensverfall standhalten. Dabei ist auch die Nachhaltigkeit ein vielschichtiger Begriff, der beispielsweise ökonomische, ökologische, technische, personelle und gesellschaftliche Aspekte umfasst.

Der Leitgedanke der Kolloquienreihe wurde von den Fakultäten im eigenen Sinne ausgelegt. Die entstandene Themenvielfalt gibt die Komplexität der Begriffe „Innovation“ und „Nachhaltigkeit“ wieder: So diskutieren die Veranstaltungen die Realisierbarkeit nachhaltiger Energieversorgung oder die Frage, wie aus Krisen Chancen für eine langfristig positive Entwicklung erwachsen, sie fragen nach Innovationen und Verantwortung in der Luft- und Raumfahrttechnik und beleuchten Entwicklung und Wandel der globalen gesellschaftlichen Ordnung, um nur einige Beispiele zu nennen. Diese Heterogenität verbildlicht die Freiheit von Forschung und Lehre und die spezifischen Kulturen der Fächer und Fakultäten, die das Selbstverständnis unserer Universität prägen. Gleichzeitig unterstreicht sie die Bedeutung von Innovation und Nachhaltigkeit für die Forschung an der Universität der Bundeswehr München.

Die Forderung, nachhaltig mit der Umwelt und den natürlichen Ressourcen umzugehen, gilt für viele Aufgabengebiete der Bauingenieure und Umweltwissenschaftler. Die Publikation zum Kolloquium der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften befasst sich daher mit der Vielfalt der Herausforderungen, die aus diesem Anspruch resultieren, und zeigt auf, welche Innovationen in der Auseinandersetzung mit diesen Herausforderungen entstehen. Ich wünsche Ihnen informative und anregende Einblicke in ein Themengebiet, das uns alle betrifft.

Grußwort des Dekans

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz



Nachhaltigkeit und Innovation

Die Nachhaltigkeit ist definiert als die zukunftsverträgliche, nachhaltige Entwicklung unter gleichzeitiger Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Ziele. Das nachhaltige Bauen hat dabei eine herausragende Bedeutung:

- Unserer heutigen Bauwerke bestimmen mit einer Lebensdauer von oft über 100 Jahren unsere Umwelt.
- Ein großer Teil der anthropogenen CO₂-Emissionen, z. B. 40 Prozent des Primärenergieverbrauchs, wird durch unsere Wohn- und Nutzgebäude verursacht.

Die Bauingenieure als Akteure des Baugeschehens haben die Verantwortung für die Qualität ihrer Bauwerke und für deren Wirkungen auf die Umwelt. War bisher die sichere und wirtschaftliche Errichtung die wichtigste Aufgabe, so wird heute in zunehmendem Maße eine gesamtheitliche Betrachtung verlangt. Eine hohe nachhaltige Qualität der Bauwerke in allen Phasen von der Projektidee über die Errichtung bis hin zur Nutzungsphase ist unsere Aufgabe. Das Berufsfeld der Bauingenieure hat damit ein viel breiteres Spektrum als bisher. Auch und gerade die Universitäten haben sich in Lehre und Forschung darauf einzustellen.

Die Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Universität der Bundeswehr München zeigt mit der

Tagung „Nachhaltigkeit und Innovation“ ihren hohen Standard an nachhaltiger Forschung und Lehre. In der ersten Phase des Lebenszyklus, der Planung, wird die Qualität der Bauwerke bestimmt durch die eingesetzten Baustoffe, innovative Bauteile und Bauverfahren. Mehrere Beiträge geben Einblick in erfolgreiche Forschungsprojekte zu diesen Kernthemen des Bauingenieurwesens.

Nach der Errichtung folgt mit der Nutzung die mit Abstand längste Phase des Bauwerkslebenszyklus. In der Forschung der Fakultät werden hier insbesondere auch Infrastrukturbauwerke wie Brücken und Tunnel behandelt. Trotz der enormen Bedeutung der Infrastruktur steht hier die Wissenschaft – im Gegensatz zum Hochbau – am Anfang der Entwicklung.

Die Sicht allein auf die Bauwerke greift zu kurz. Die lokale Umwelt profitiert direkt und indirekt von der Vernetzung mit modernen Bauwerken. Die Fakultät greift deshalb übergeordnete Themen auf und zeigt dies z. B. mit Beiträgen zur Energiewende auf.

Die Vernetzung der Fakultät mit Wirtschaft, Verwaltung und mit unserem Träger, dem Bundesministerium der Verteidigung, dokumentieren unsere Referenten aus diesen Bereichen. Die nachhaltige Innovation der Fakultät in der ganzen Breite der Forschungsarbeiten findet auf kurzem Wege Eingang in die Bauwerke und in die Umwelt.



Infrastruktur

- 08 **Wie baut der Staat – heute und morgen**
Ministerialdirigent Dipl.-Ing. Karl Wiebel
Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern
- 11 **Nachhaltige Infrastrukturbauwerke**
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz
M.Eng. Stephan Engelhardt
Universität der Bundeswehr München
- 19 **Entwicklungen im Spannbetonbrückenbau –
 Haben wir aus der Vergangenheit gelernt?**
Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser
M.Eng. Michael Niederwald
Universität der Bundeswehr München
- 29 **Eine nachhaltige Methode zur Vermeidung
 von Glatteis auf Brücken**
Prof. Dr.-Ing. Ingbert Mangerig
Universität der Bundeswehr München
- 35 **Sichere Trinkwasserversorgung in Bayern**
PD Dr.-Ing. habil. Steffen Krause
Dipl.-Ing. Christian Platschek
Prof. Dr.-Ing. Frank Wolfgang Günthert
Universität der Bundeswehr München
- 40 **Neue Verkehrs- und Mobilitätsdienste im Rahmen
 der Elektromobilität**
Prof. Dr.-Ing. Klaus Bogenberger
Dipl.-Geogr. Florian Paul
Dipl.-Math. Simone Weikl
Universität der Bundeswehr München

Hoch- und Ingenieurbau

- 48 **Nachhaltigkeit in der Umsetzung – wie sich Wissenschaft
 und Praxis ergänzen können**
Dr.-Ing. Jürgen Büllesbach
Bayerische Hausbau
- 52 **Innovative Fassaden als Beitrag für nachhaltige Gebäude**
Prof. Dr.-Ing. Geralt Siebert
Universität der Bundeswehr München
- 58 **Ökologisch und technisch verbesserte Betone durch den
 Einsatz alternativer Zusatzstoffe**
Prof. Dr.-Ing. Karl-Christian Thienel
Dipl.-Ing. Nancy Beuntner
Universität der Bundeswehr München

Umwelt und Ausbildung

- 66 **Ganzheitliche Betrachtung beim Bau und Betrieb
 von Bundeswehrliegenschaften**
Brigadegeneral Dr.-Ing. Matthias Geitz
*Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen
 der Bundeswehr*
- 69 **Konversionsflächenmanagement – Beitrag zur
 Flächenkreislaufwirtschaft und nachhaltigen Entwicklung**
Prof. Dr.-Ing. Christian Jacoby
Universität der Bundeswehr München
- 77 **Energiewende – Kulturlandschaft im Wandel**
Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Thiemann
Universität der Bundeswehr München
- 84 **Nachhaltige Bewirtschaftung von Flussoasen entlang
 des Tarim Flusses**
Prof. Dr.-Ing. Markus Disse
Dipl.-Ing. Patrick Keilholz
Technische Universität München
- 92 **Plädoyer für eine nachhaltige Bau-Ingenieurausbildung**
Prof. Dr.-Ing. Norbert Gebbeken
Universität der Bundeswehr München

Wie baut der Staat – heute und morgen



Ministerialdirigent Dipl.-Ing. Karl Wiebel

Dipl.-Ing. Karl Wiebel (geboren 1953 in in Asbach-Bäumenheim) studierte Bauingenieurwesen an der TU München. Nach seinem Referendariat bei der Bayerischen Straßenbauverwaltung war er zunächst Abteilungsleiter später Amtsleiter an verschiedenen Straßenbauämtern. 2001 übernahm er das Amt des Präsidenten der Autobahndirektion Nordbayern. Seit 2007 ist er Leiter der Abteilung Straßen- und Brückenbau, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren. Wiebel ist außerdem seit 2007 Vorsitzender der Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure in Bayern e.V.

E-Mail: karl.wiebel@stmi.bayern.de

Einleitung

Der Begriff Nachhaltigkeit wird im Sprachgebrauch nicht immer einheitlich verwendet. Das Begriffsverständnis ist wohl auch von der Interessensgruppe abhängig, die den Begriff nutzt. Im ursprünglichen Sinne bedeutet Nachhaltigkeit „längere Zeit andauern oder bleiben“. Im diesem Sinne wurde der Begriff auch in der Forstwirtschaft etabliert – es soll nicht mehr Holz geschlagen werden als nachwächst.

Wann aber ist der Straßenbau als nachhaltig zu bezeichnen?

Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit

Wie im ursprünglichen Wortsinn ist sicherlich die Langlebigkeit einer Straße und der zugehörigen Bauwerke sowie die dauerhafte Erfüllung der an sie gestellten Anforderungen – z. B. hinsichtlich ihrer Gebrauchseigenschaften wie Ebenheit oder Griffigkeit der Fahrbahnen – ein entscheidendes Merkmal der Nachhaltigkeit im Straßenbau.

Voraussetzung hierfür ist vor allem eine hohe Bauqualität. Die Bayerische Straßenbauverwaltung hat deswegen gemeinsam mit der Industrie, Ingenieurbüros und der TU München die Qualitäts-offensive Asphalt ins Leben gerufen und damit Voraussetzungen für langlebigere Straßenoberbauten geschaffen. Durch technisch innovative Lösungen wird so die Nachhaltigkeit gesteigert.

Die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme muss dabei immer fest im Auge behalten werden. Aus volkswirtschaftlicher Sicht und in Hinblick auf knappe Haushaltsmittel gilt es, Fahrbahnen und Bauwerke richtig – entsprechend den zu erwartenden Verkehrslasten – zu dimensionieren. Des Weiteren sollen die Gesamtkosten für Erstellung, Betrieb und Erhaltung möglichst gering sein. Deshalb ist ein weiteres Kriterium für Nachhaltigkeit die Erhaltungsfreundlichkeit. Hierzu können sorgfältig konstruierte Bauwerke, bei den die wichtigen Bauteile möglichst leicht prüfbar und zugänglich sind oder die Belange des Unterhaltungsdienstes von Anfang an berücksichtigt werden, beitragen.

Bestandserhaltung

Aber auch Verkehrsanlagen, die in hoher Qualität erstellt werden, müssen gezielt erhalten werden, um eine langfristige Nutzbarkeit abzusichern. Bei einer Verkehrsinfrastruktur, die im Wesentlichen ausgebaut ist, gewinnt die Bestandserhaltung an Bedeutung. 2013 wird sowohl bei den Staatsstraßen als auch bei den Bundesfernstraßen mehr in die Bestandserhaltung als in den Um- und Ausbau bzw. Neubau investiert. Die regelmäßig durchgeführten Zustandserfassungen und -bewertungen in Bayern zeigen, dass sich der Substanzwert auf den Bundesfernstraßen in den letzten 10 Jahren kontinuierlich verschlechtert hat und im Bereich der Staatsstraßen dank gezieltem und deutlich erhöhtem Mitteleinsatz in den vergangenen Jahren der Zustand der Substanz zumindest gehalten werden konnte.

Um die verfügbaren Haushaltsmittel optimal zu nutzen und einen guten Zustand unserer Straßen und Brücken über einen langen Zeitraum zu gewährleisten – also um nachhaltig zu agieren –, gilt es, moderne, innovative Werkzeuge des Erhaltungsmanagements einzusetzen und konsequent weiterzuentwickeln.

Gleichzeitig müssen Straßenbaustellen so geplant und koordiniert werden, dass sie die Verkehrsteilnehmer möglichst wenig beeinträchtigen. Wegen der rasant steigenden Anzahl von Baustellen, die bei laufendem Verkehr abzuwickeln sind, hat die Bayerische Straßenbauverwaltung das Baustellenmanagement optimiert und heuer erstmals eine erweiterte, bayernweite Koordination der Baustellen durchgeführt.

Vor dem Hintergrund des prognostizierten, weiter stark anwachsenden Güterverkehrsaufkommens kommt den Brückenbauwerken bei der Erhaltung unserer Straßeninfrastruktur – eine Schlüsselrolle zu. Ein Großteil der Brücken wurde zu Zeiten des wirtschaftlichen Aufschwungs in den 1960er, 1970er und 1980er Jahren gebaut. Für diese Brücken stehen jetzt zwangsläufig die ersten größeren Grundinstandsetzungsmaßnahmen an. Unabhängig davon sind die Tragfähigkeitsreserven vieler Bauwerke fraglich. Die Straßenbauverwaltungen sind deshalb aufgefordert, Nachrechnungen von Bauwerken durchzuführen. Die Bayerische Straßenbauverwaltung hat ein eigenes Konzept für die Ertüchtigung des Bauwerksbestandes entwickelt. Neben der notwendigen laufenden Brückenunterhaltung bzw. -sanie rung beinhaltet es auch die Ertüchtigung bzw. Erneuerung des Brückenbestandes. Nachhaltigkeit bedeutet hier, genau zu eruieren, welche Bauwerke mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand ertüchtigt werden können, bei welchen ein Ersatzneubau erforderlich ist und wann der optimale Realisierungszeitpunkt ist. Dabei sind auch die Vorgaben des Bedarfsplans für die Bundesfernstraßen und des Ausbauplans für die Staatsstraßen mit zu berücksichtigen, um eine gute Koordination mit Ausbaumaßnahmen zu gewährleisten.

Wandel der Anforderungen

Das Beispiel der erforderlichen Brückenertüchtigungen zeigt, dass die Anforderungen, die an technische Bauwerke gestellt werden, sich beständig im Wandel befinden. Neue, nicht absehbare oder erwartete Entwicklungen stellen sich ein. Verkehrsleistungen entwickeln sich anders als prognostiziert. So hat zum Beispiel die politische Wende 1989 zu völlig neuen Verkehrsströmen geführt. Auch die Elektromobilität bringt geänderte Anforderungen mit sich. Nachhaltigkeit im Straßenbau erfordert, auf Entwicklungen rechtzeitig zu reagieren.

Ein Trend, der bereits spürbar eingesetzt hat, ist der demographische Wandel. Er führt zu einem höheren Anteil älterer Menschen mit altersbedingten Beeinträchtigungen vor allem im sensorischen und motorischen Bereich. Für den Verkehrsbereich hat diese demographische Entwicklung zur Folge, dass immer

mehr ältere Menschen aktiv am Straßenverkehr teilnehmen. Damit werden sich sowohl die Anforderungen an die Bauten als auch die Mobilitätsbedürfnisse und die tatsächliche Mobilität verändern. Hierauf war zu reagieren. So hat „Barrierefreies Bauen“ im Staatlichen Bauwesen in Bayern eine wachsende Bedeutung. Barrierefreies Bauen bedeutet dabei aber weit mehr als nur rollstuhlgerecht zu bauen. Bei der Herstellung von Barrierefreiheit müssen ganz unterschiedliche Arten von Beeinträchtigungen oder Behinderungen von den Planern berücksichtigt werden. Dies betrifft z. B. die Wahl von taktilen Bodenelementen für ein Leitsystem für Sehbehinderte, den Einbau von Mittelinseln in Fahrbahnen als Querungshilfen oder die Wahl der richtigen Bordsteinhöhe und reicht bis zur Schriftgröße bei der Wegweisung, die Tag und Nacht gut erkennbar und lesbar sein muss. Zur Qualitätssicherung bei der Barrierefreiheit hat die Bayerische Staatsbauverwaltung ein spezielles Audit eingeführt, in dem besonders geschulte Auditoren die Planungen und Baumaßnahmen auf Defizite überprüfen.

Umweltverträglichkeit

Ein weiterer Aspekt bei der Frage der Nachhaltigkeit im Straßenbau ist die Umweltverträglichkeit. Natur und Landschaft sind nicht nur Lebensgrundlage für Mensch und Tier, sondern auch eine wertvolle Ressource. Unsere Landschaftsplanung trägt dem Rechnung. Im Vordergrund stehen Planungskonzepte für einen schonenden Umgang mit Tieren und Pflanzen sowie der Erhalt der Ökosysteme. Die Umwelt zu schonen ist Ausdruck verantwortlichen Handelns und eine Voraussetzung dafür, dass das Bauen gesellschaftlich auf Dauer anerkannt und akzeptiert wird. Zum schonenden Umgang mit den vorhandenen Ressourcen gehört selbstverständlich auch, dass eingesetzte Baustoffe möglichst wiederverwendbar sein sollen und die Möglichkeiten zum Baustoffrecycling möglichst weitgehend genutzt werden.

Ideenwettbewerb

Die Oberste Baubehörde widmet dem Thema nachhaltiges Bauen ein besonderes Augenmerk. Zusammen mit der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau wurde der Ideenwettbewerb „Entwurf einer Straßenbrücke nach ganzheitlichen Kriterien“ durchgeführt. Hierbei wurde für eine Brücke im Zuge der B 15neu neben der Gestaltung vor allem auch die ökologische, ökonomische, soziokulturelle und konstruktive Qualität der Wettbewerbsarbeiten bewertet.

Öffentlich-Private Partnerschaften (ÖPP)

Hohe Bauqualität, gute Instandhaltung und Wirtschaftlichkeit bei der Straßenverkehrsinfrastruktur sollen auch durch geeignete Beschaffungsvarianten der öffentlichen Hand abgesichert werden. Gefragt sind maßgeschneiderte innovative Lösungen, die jeweils vom konkreten Projekt abhängig sind. Dort, wo die

Randbedingungen stimmen, kann ÖPP für die Bayerische Straßenbauverwaltung eine interessante Beschaffungsvariante sein.

Die Bayerische Straßenbauverwaltung hat beim Ausbau der A8 zwischen Augsburg und München Pionierarbeit geleistet. Die A8 war bundesweit die erste Autobahn, deren Ausbau im Rahmen einer Öffentlich-Privaten Partnerschaft erfolgte. Bei dem sogenannten Betreibermodell hat der private Partner den sechsstreifigen Ausbau der Autobahn sowie für 30 Jahre die Erhaltung und den Betriebsdienst übernommen. Auch die Finanzierung des Projekts ist seine Aufgabe. Im Gegenzug erhält er die auf dem Autobahnabschnitt anfallende Lkw-Maut und eine Anschubfinanzierung.

Das Betreibermodell ist auf Nachhaltigkeit angelegt: Dem privaten Partner wurde die langjährige Verantwortung für das „eigene“ Bauwerk übertragen und er hat viel Freiraum bei der Wahl der Baustoffe und Bauverfahren. Das ist für ihn ein großer Anreiz, mit hoher Qualität und dauerhaft wirtschaftlich zu bauen. Von einer guten Qualität profitieren auch die Nutzer der Strecke durch weniger Beeinträchtigungen infolge von Reparaturarbeiten und Sanierungen. Mit der Einbindung privaten Kapitals kann gleichzeitig sichergestellt werden, dass dringend erforderliche Verkehrsprojekte auch zeitnah und schnell umgesetzt werden können.

Die Erwartungen haben sich bei der A8, die in nur rund dreieinhalb Jahren Bauzeit auf 37 Kilometern Länge sechsstreifig ausgebaut wurde, erfüllt. Die Verwaltung und der private Partner haben partnerschaftlich zusammengearbeitet, die Bauqualität stimmt, Termine wurden eingehalten und die Kosten blieben im Rahmen.

Derzeit wird die A8 zwischen Ulm und Augsburg mit einem ÖPP-Modell ausgebaut. Mit dem Lückenschluss der A94 in Oberbayern soll ein weiteres großes Autobahn-Neubauprojekt als ÖPP-Modell realisiert werden. Im Unterschied zu den A8-Ausbauprojekten ist für den A94-Neubau ein Verfügbarkeitsmodell vorgesehen. Die Vergütung des privaten Partners soll dabei nicht vom Lkw-Aufkommen und der Lkw-Maut abhängig sein, sondern von der Qualität der erbrachten Leistung und dem Maß der Streckenverfügbarkeit. Dies ist Anreiz für nachhaltiges Handeln.

In der Bewertung der bisherigen ÖPP-Pilotprojekte, zu denen nicht nur die genannten Autobahnprojekte, sondern auch eine Reihe von Staatsstraßenmaßnahmen gehörten, hat sich gezeigt, dass durch die gleichzeitige Übertragung von Herstellung und baulicher Erhaltung über einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren für den Auftragnehmer der Anreiz zu hoher und dauerhafter Bauqualität mit entsprechend geringeren Erhaltungsaufwendungen besteht. Eine Erkenntnis aus den beiden Projekten an der A8 war aber auch, dass Projektfinanzierungsmodelle sehr stark von der Situation an den Finanzmärkten beeinflusst werden und die

ohnehin höheren Finanzierungskosten bei der privaten Kreditbeschaffung die Wirtschaftlichkeit dieser Beschaffungsvariante in Frage stellen können.

Funktionsbauvertrag

Vor diesem Hintergrund sind auch Modelle zu entwickeln, mit denen die Vorteile von ÖPP-Modellen erhalten und die Nachteile vermindert werden können. Eine Lösung kann die Projektrealisierung über einen haushaltsfinanzierten Funktionsbauvertrag sein. Durch die Übertragung der Erhaltungsphase für einen ausreichend langen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren werden Anreize geschaffen, mit hoher Qualität zu bauen. Die funktionale Ausschreibung lässt dem Auftragnehmer den Freiraum, sein Fachwissen und seine Erfahrungen – sein Know-how – umfassend einzubringen. Die Finanzierung erfolgt aus öffentlichen Mitteln, sodass auch der Mittelstand am Wettbewerb aussichtsreich teilnehmen kann.

Erste Pilotprojekte beim Autobahnbau waren ein 12 Kilometer langer Ausbaubereich im Zuge der A93 Süd zwischen der Anschlussstelle Brannenburg und der Anschlussstelle Kiefersfelden und der 8 Kilometer lange sechsstreifige Ausbau der A6 zwischen der Anschlussstelle Roth und dem AK Nürnberg-Süd. Auch im Zuge von Staatsstraßen wurden bereits wichtige Erfahrungen in der Bauabwicklung mit einem Funktionsbauvertrag gesammelt.

Die Bayerische Straßenbauverwaltung stellt derzeit einen Leitfaden zur Aufstellung und Abwicklung von Funktionsbauverträgen für die nachgeordneten Bauämter auf. Die Abstimmung mit dem Bayerischen Bauindustrieverband hat gezeigt, dass die Bauwirtschaft einer breiteren Anwendung des Modells eines haushaltsfinanzierten Funktionsbauvertrages durchaus positiv gegenübersteht.

Fazit

Nachhaltigkeit erfordert Innovationen. Der technische Fortschritt und die heute verfügbaren digitalen Mittel eröffnen viele neue Möglichkeiten und Chancen. Die Bayerische Straßenbauverwaltung nutzt bzw. fördert diese Möglichkeiten in vielfältiger Weise. Sie betreibt ein modernes Erhaltungsmanagement und entwickelt dieses weiter. Sie nutzt die vorhandene Infrastruktur bestmöglich, indem vor der Entscheidung, ob Sanierungen oder Erneuerungen geboten sind, Reserven ausgelotet werden. Um Bauqualität zu sichern und weiter zu verbessern oder die Fahrbahnbeläge lärmtechnisch zu optimieren, arbeitet die Bayerische Straßenbauverwaltung eng mit der Wirtschaft sowie mit Wissenschaft und Forschung zusammen. Mit ÖPP-Modellen und Funktionsbauverträgen werden neue Wege in der Vertragsgestaltung beschritten, um die Verkehrsinfrastruktur zukunftsfähig, nachhaltig und wirtschaftlich auszubauen und zu betreiben.

Nachhaltige Infrastrukturbauwerke



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz

Jürgen Schwarz studierte von 1973-1979 an der TU Berlin (Abschluss: Diplomingenieur) und arbeitete von 1979 bis 1984 als Bauleiter im Ingenieur- und Tunnelbau. Von 1984 bis 1987 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU München beschäftigt, wo er auch promovierte. Es folgten Tätigkeiten als Projektleiter und Abteilungsleiter in der Bauindustrie, die mit der Bearbeitung von Großprojekten im In- und Ausland einhergingen (1987-2006). Seit 2006 ist Jürgen Schwarz Professor für Baubetrieb und Untertagebau an der Universität der Bundeswehr München.

E-Mail: juergen.schwarz@unibw.de



M.Eng. Stephan Engelhardt

Stephan Engelhardt hat 2004 an der FH Würzburg sein Studium als Diplom-Ingenieur (FH) abgeschlossen und von 2004 bis 2008 als Projektingenieur und Projektleiter im Ingenieur- und Tunnelbau gearbeitet. Berufsbegleitend absolvierte er in den Jahren 2007-2008 ein Masterstudium an der FH Würzburg zum Master of Engineering. Seit 2010 ist Stephan Engelhardt als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baubetrieb und Untertagebau an der Universität der Bundeswehr München beschäftigt und übt seit 2011 als freiberuflicher Ingenieur gutachterliche Tätigkeiten im Tunnelbau aus. Darüber hinaus arbeitete er von 2008 bis 2012 als Projektingenieur für baubetriebliches Projektmanagement.

E-Mail: stephan.engelhardt@unibw.de

Zusammenfassung

Eine Nachhaltigkeitsbewertung für Infrastrukturbauwerke ist bislang nicht Stand der Technik. Auch die Forschung steht hier noch am Anfang. Erste Ansätze liegen bislang für den Brückenbau vor. Im vorliegenden Beitrag wird ein Nachhaltigkeitsmodell für Tunnelbauwerke vorgestellt, das interdisziplinär an der Universität der Bundeswehr München zusammen mit der BBT SE entwickelt wird.

Basierend auf einem modularen Prozessmodell wird die Nachhaltigkeitsbewertung schrittweise konsekutiv durchgeführt. Das sind die Schritte:
Festlegung des Untersuchungsrahmens – Bewertung der Nachhaltigkeitskriterien – Monetarisierung von Nutzen – Transfor-

mation nicht monetarisierbarer Nutzen – Summierung zum Bewertungsergebnis

Bei der Bewertung werden alle Nachhaltigkeitsaspekte (Ökologie, Ökonomie, Soziales) einbezogen und in allen Lebensphasen des Bauwerks von der Projektidee bis hin zum Ende der Nutzung berücksichtigt. Die strukturierte Methodik ermöglicht die wissenschaftlich fundierte Bewertung aller Nachhaltigkeitskriterien für Tunnelbauwerke.

1. Einführung

Die Nachhaltigkeit ist als zukunftsverträgliche, nachhaltige Entwicklung unter gleichzeitiger Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Ziele definiert [1]. Die

Umsetzung der Nachhaltigkeit ist in der Immobilienwirtschaft für den Hochbau schon weit fortgeschritten. Die Nachhaltigkeitsprozesse werden dort bereits zum Beginn der Projektentwicklung eingeleitet und in den gesamten Managementprozess integriert [2].

Für die Ingenieurbauwerke der Infrastruktur ist eine vergleichbare Entwicklung sowohl in der Forschung als auch in der Praxis nicht zu erkennen. Aktuell werden erste Grundlagen durch unterschiedliche Forschungsarbeiten gelegt. Hier begann die Entwicklung von Modellen zur Bewertung der Nachhaltigkeit im Bereich der Brückenbauwerke: Erste Ansätze lieferte 2010 das Forschungsvorhaben „Ganzheitliche Bilanzierung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit“ (NaBrue). Ziel war es, eine Vorgehensweise zur Unterstützung der Entscheidungsfindung auf Basis von Nachhaltigkeitskriterien für Brückenbauwerke in Stahl- oder Verbundbauweise zu erarbeiten [3]. Ein von der Bauweise unabhängiges Konzept zur ganzheitlichen Beurteilung von Verkehrsinfrastrukturen wurde in [4] vorgestellt. Die „Arbeitsgruppe Infrastrukturbauwerke“ hat dabei das in der Praxis bewährte System der Nachhaltigkeitszertifizierung aus dem Hochbau auf die Belange von Brückenbauwerken adaptiert. Gegenwärtig laufen erste Pilotstudien zur Verifizierung und Umsetzung der wissenschaftlichen Modelle in der Praxis [4].

Bei Tunnelbauwerken erfolgt erst in den letzten Jahren eine verstärkte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema Nachhaltigkeit. Hinsichtlich der ökonomischen Kriterien eines Tunnelbauwerkes liefert VOGT mit dem Modell der Lebenszykluskostenanalyse von Tunnelbauwerken der Straßeninfrastruktur [5] einen ganzheitlichen Bewertungsansatz. Ausgangspunkt ist eine systematische Erfassung aller über den Lebenszyklus anfallenden Kosten eines Tunnelbauwerkes unter Berücksichtigung des jeweiligen Anfallszeitpunkts und der damit verbundenen Prognoseunsicherheiten [5].

Ein erster Ansatz zur vollumfänglichen Berücksichtigung sämtlicher Nachhaltigkeitsaspekte für Tunnelbauwerke wird in [6] dargestellt. In interdisziplinären Forschungsprojekten an der Universität der Bundeswehr München, in Kooperation mit der Betreibergesellschaft des Brenner Basistunnels (BBT SE), wird aktuell ein modulares Modell zur Nachhaltigkeitsbewertung speziell für Straßentunnel entwickelt. Auf dieses Modell wird im Folgenden näher eingegangen.

2. Ganzheitlicher Bewertungsansatz

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit ist es erforderlich, die zu untersuchenden Systemgrenzen festzulegen und für alle zu bewertenden Bauwerksvarianten konsistent anzuwenden. Erst ein einheitliches Niveau hinsichtlich der technischen bzw. sicherheitstechnischen Standards, aber auch der Funktionsfähigkeit, erlaubt eine direkte Gegenüberstellung aller Projektvarianten

bzw. Bewertungskriterien. Bei dem in [6] vorgestellten Modell zur Nachhaltigkeitsbewertung von Tunnelbauwerken werden nur das Bauwerk und die daraus resultierenden Effekte betrachtet. Die vor- bzw. nachgelagerte Trasse bleibt bei den Untersuchungen unberücksichtigt.

Zur ganzheitlichen Betrachtung gehört eine Berücksichtigung aller relevanten Aspekte während des gesamten Lebenszyklus. Dieser definiert sich durch „...alle aufeinander folgenden und miteinander verbundenen Phasen der Lebensdauer des betrachteten Gegenstands“ [7]. Übergeordnet setzt sich der Lebenszyklus aus den Phasen Planung, Bau, Betrieb und Verwertung zusammen. Wegen der Überschneidung der Planungs- und Bauphase werden diese zur Herstellungsphase zusammengefasst [8].

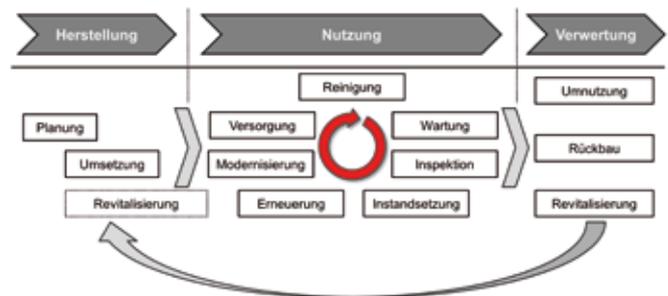


Abbildung 1
Einteilung der Lebenszyklusphasen für Tunnelbauwerke [8]

Während der Nutzungsphase durchläuft das Bauwerk eine Reihe an Unterphasen:

- Reinigung,
- Wartung,
- Inspektion,
- Instandsetzung,
- Erneuerung,
- Modernisierung und
- Versorgung.

Die Phasen laufen wiederholt und mitunter zeitgleich ab. Die dazu notwendigen Prozesse fallen in einer unstrukturierten Reihenfolge und Häufigkeit an [8].

Die Verwertungsphase umfasst die Möglichkeiten der Umnutzung, des Rückbaus oder der weitaus häufigeren Revitalisierung. Bei letzterer wird das Bauwerk vollständig instandgesetzt, so dass dies einem Neubeginn des Lebenszyklus gleichzusetzen ist [8].

Zur Umsetzung eines ganzheitlich betrachteten Tunnelbauwerkes sind die Grundaspekte der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökonomie und Soziales) miteinander in Einklang zu bringen.

Als Querschnittskriterium über alle drei Nachhaltigkeitsaspekte ist außerdem die technische Qualität in die Bewertung einzubeziehen. Für eine konsistente Bewertung und die Zusammenführung der einzelnen Dimensionen ist eine einheitliche Bewertungsgröße bzw. ein funktionales Äquivalent zu definieren (vgl. Abbildung 2). So können die Qualitäten der unterschiedlichen Aspekte verglichen und quantitativ zu einer Gesamtbewertung addiert werden. Diese Bewertungsgröße bildet gleichzeitig die Basis für eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Bauwerke bzw. Bauwerksvarianten [6].

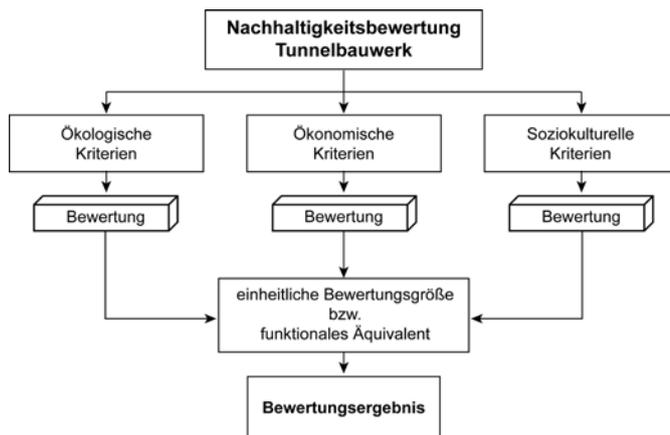


Abbildung 2

Modell zur Nachhaltigkeitsbewertung [6]

kehrliche Nutzung eines Tunnels sowie durch den Verkehr selbst werden ebenfalls CO₂-Emissionen verursacht, wobei nur die Menge direkt dem Bauwerk selbst zuzuordnen ist, die infolge des Betriebs bzw. durch Staubildung bei Sanierungsmaßnahmen entsteht [6]. In Abbildung 3 sind die Anteile der CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus qualitativ dargestellt.

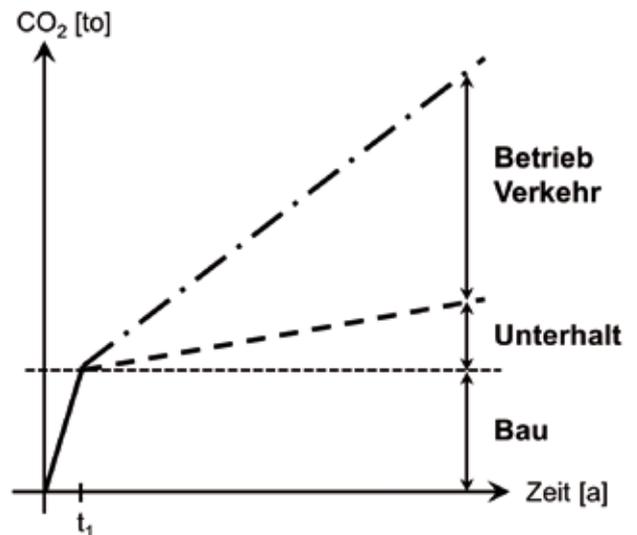


Abbildung 3

Qualitative Darstellung der CO₂-Anteile bei Bau, Unterhalt und Betrieb eines Straßentunnels [6]

3. Bewertung der Nachhaltigkeit von Tunnelbauwerken

Die direkte Bewertung der ökologischen Qualität von Tunnelbauwerken findet bislang weder in der Planung noch im Vergabeverfahren entscheidend Anwendung. Hier dominieren fast ausschließlich die ökonomischen Aspekte zur Herstellung. Vor dem Hintergrund der Diskussionen um die Klimaveränderung ist die ökologische Säule der Nachhaltigkeit aber unverzichtbar und ein wesentlicher Bestandteil der Zertifizierung von Gebäuden im Hochbau [6]. Als entscheidende Kenngröße hat sich dabei die Menge der entstehenden Treibhausgase in Form des CO₂-Äquivalents [t CO₂ E] etabliert. Hierfür wird das individuelle Treibhauspotential eines Stoffes auf das Vergleichspotential von CO₂ umgerechnet. Auch Effekte, die beispielsweise bei Bauprozessen auftreten, lassen sich so individuell ermitteln und im Bewertungsverfahren berücksichtigen.

Die bei der Herstellung eines Tunnels anfallende Menge an CO₂ lässt sich im Wesentlichen auf die Bereiche Bauverfahren und Baustoffe eingrenzen und ist dadurch gut quantifizierbar [6]. Während der Lebensdauer eines Tunnelbauwerkes entstehen weitere CO₂-Emissionen durch Unterhaltsmaßnahmen und durch den Betrieb der betriebs- und sicherheitstechnischen Tunnelausstattung, insbesondere bei Straßentunneln. Durch die ver-

Für die ökologische Bewertung von unterschiedlichen Bauverfahren und den im Tunnelbau verwendeten Materialien gibt es bisher noch keine anerkannten Regeln der Technik. Erste praxisnahe Ansätze werden aktuell in verschiedenen Forschungsarbeiten, unter anderem in Kooperation der Universität der Bundeswehr München und der BBT SE, z. B. in [9] und [10] bzw. [11] entwickelt.

Für die ökonomische Nachhaltigkeit liegen im Vergleich zu den ökologischen Aspekten weitreichendere Forschungsergebnisse vor. Ziel ist es, die mit dem Bauwerk in Verbindung stehenden Kosten (Kosten werden auch als „negative Nutzen“ bezeichnet) zu minimieren und gleichzeitig den möglichen positiven Nutzen optimal auszuschöpfen. Dabei ist es wichtig, die Substitutionspotentiale im Hinblick auf eine ökonomische Optimierung unter gleichzeitiger Einhaltung aller weiteren Nachhaltigkeitsaspekte zu kennen und diese entsprechend umzusetzen [6].

Die ökonomische Qualität eines Bauwerkes drückt sich entsprechend DIN EN 15643-4 über die im Verlauf des Lebenszyklus anfallenden Kosten und die mit dem Bauwerk in Verbindung stehenden Einnahmen aus [12]. Grundlage der dafür erforder-

lichen Lebenszykluskostenrechnung ist eine lebensphasenübergreifende Denkweise. Um eine Vergleichbarkeit der Zahlungen aus den unterschiedlichen Phasen zu ermöglichen, ist eine Projektion auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt erforderlich. Hierfür wird auf finanzmathematische Ansätze aus der Investitionsrechnung zurückgegriffen. Wegen der einfachen Handhabung wird für die Lebenszykluskostenkalkulation meist die Kapitalwertmethode herangezogen. Der Kalkulationszinssatz ist dabei die entscheidende Rechengröße. Er gibt das relative Verhältnis der Ein- und Auszahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten wieder. Beispielsweise sinkt der Einfluss von Folgekosten durch einen hohen Zinssatz. Umgekehrt bedeutet dies, dass bei Nichteintreten des prognostizierten Zinssatzes die Wertigkeit von in der Zukunft liegenden Zahlungen deutlich ansteigt. Um nachfolgende Generationen gemäß dem Grundgedanken der Nachhaltigkeit nicht zu sehr mit den Folgekosten zu belasten, empfiehlt es sich zur Entscheidungsfindung eine Alternativbewertung ohne Ab- bzw. Aufzinsung durchzuführen [6].

Neben der Einbeziehung der Lebensphasen ist zur Bestimmung der ökonomischen Nachhaltigkeit eine Differenzierung der einzelnen Bauelemente auch in Hinblick auf deren Lebensdauer bzw. der daraus resultierenden Folgekosten vorzunehmen. So verursachen die zur Herstellung notwendigen Bauhilfsmaßnahmen, wie z. B. Wasserhaltung, Tunnelsicherung und auch Umleitungen, lediglich während der Bauphase Kosten. In den weiteren Lebensphasen resultieren hieraus aber keinerlei Folgekosten. Anders ist dies bei der eigentlichen Tunnelkonstruktion (Innenschale, Fluchtwege etc.) bzw. der Tunnelausstattung (Beleuchtung, Lüftung etc.). Aufgrund der zum Teil deutlich längeren Lebensdauer der Baukonstruktion ist eine separate Erfassung der Kosten gegenüber der Tunnelausstattung anzustreben. Zudem fallen für die beiden Bauteilgruppen unterschiedliche Leistungen und somit auch Folgekosten während der Nutzungsphase an [13]. In der Herstellungsphase ist der Anteil der Kosten für die Betriebstechnik im Vergleich zu den Kosten für das reine Bauwerk deutlich geringer. In der Nutzungsphase kehrt sich dieses Verhältnis um. In vielen Fällen übersteigen die Folgekosten aus der Betriebstechnik die gesamten Kosten für das eigentliche Bauwerk (Abbildung 4). Neben den reinen Erhaltungskosten für das Bauwerk fallen erhebliche Kosten für den Betrieb und die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der Betriebstechnischen Ausstattung an [13]. Insbesondere die aus Sicherheitsgründen erforderliche Beleuchtung verursacht mit Energie- und Wartungskosten einen Großteil der laufenden Kosten. Um eine verursachergerechte Zuordnung der Folgekosten zu ermöglichen, ist eine Differenzierung der Herstellkosten zwischen Bauwerk und Technischer Ausstattung vorzunehmen.

Darüber hinaus werden die Lebenszykluskosten von Tunnelbauwerken ganz wesentlich durch die Lebensdauer der einzelnen Elemente sowie deren Aufwand für Instandhaltung, Instandsetzung bzw. Austausch beeinflusst. Durch die Kenntnis des Umfangs und der Häufigkeit der einzelnen Maßnahmen kann be-

stimmt werden, in welcher Höhe und zu welchem Zeitpunkt die entsprechenden Kosten im Lebenszyklus anfallen. Auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen gibt es Bestrebungen mit Hilfe einer lebensdauerorientierten Konstruktion und Durchbildung die Aufwendungen zum Erhalt des Tunnelbauwerks – insbesondere der tragenden Struktur – zu optimieren [14]. Für wichtige Bauwerke wird zudem eine Verlängerung der Lebensdauer auf bis zu 200 Jahre angestrebt, so z. B. beim Brenner Basistunnel [15]. Durch explizite Berücksichtigung von zusätzlichen Tragereserven oder die gezielte Ausnutzung der Materialeigenschaften, beispielsweise durch Verwendung von Hochleistungsbetonen, werden – bezogen auf die Baukonstruktion – ein nahezu instandsetzungsfreies Bauwerk realisiert [14] und dadurch die Folgekosten auf ein Minimum reduziert.

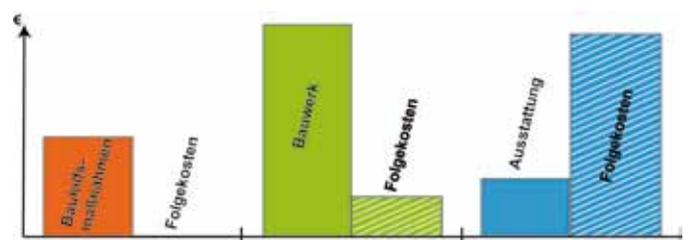


Abbildung 4
Qualitative Verteilung der Erst- und Folgekosten von Tunnelbauwerken [13]

Für die technische Ausstattung eines Straßentunnels sind die Lebensdauern wesentlich kürzer, z. B. gemäß ABBV 20 Jahre [16]. Solche pauschalen Werte hinsichtlich der Lebens- bzw. Nutzungsdauer einzelner Bauteile sind für eine dezidierte Auseinandersetzung mit den anfallenden Folgekosten zu ungenau. In der Praxis muss je nach Bauteil mit einer großen Streuung der Nutzungsdauer von ca. 10 bis 25 Jahren gerechnet werden [17]. Die fortschreitende computerunterstützte Automatisierung und Steuerung wird zu einer weiteren Reduzierung der Lebensdauer einzelner betriebstechnischer Bauteile beitragen [17]. Hier bietet es sich an, für die Ermittlung der Lebensdauern einzelner Komponenten dokumentierte Bauteilausfälle zu untersuchen und statistisch auszuwerten. Beispielsweise die im Maschinenbau bereits angewandte Weibull-Verteilung liefert aussagekräftige Ergebnisse zur Abschätzung der technischen Lebensdauer [5].

Die technische Lebensdauer allein bestimmt jedoch nicht zwangsläufig den Austauschzeitpunkt eines Bauteils. Aus wirtschaftlicher Sicht kann es beispielsweise sinnvoller sein, bereits vor dem Verlust der Funktionsfähigkeit ein Bauteil gegen ein neues, energiesparenderes oder wartungsfreundlicheres Bauteil zu tauschen [18]. Komponenten, insbesondere solche mit einer erhöhten Sicherheitsrelevanz, werden frühzeitig präventiv gewechselt. Auch technische Abhängigkeiten können dazu führen,

dass Bauteile unabhängig vom Erreichen der technische Lebensdauer ausgetauscht werden, die für den Wechsel anderer Bauteil zu demontieren sind [18]. Die damit verbundene Instandhaltungsstrategie ist in die Lebenszykluskostenberechnung einzu-beziehen.

Die soziokulturellen Aspekte werden nach Stand der Technik in der Bauwerksbeurteilung und Vergabeentscheidung nicht betrachtet, sie werden allenfalls zur Ermittlung von vorteilhaften Bauwerksvarianten berücksichtigt. Hier werden zwei Themenbereiche zusammengefasst, die die direkten Auswirkungen auf den Nutzer und auf die Einbindung des Bauwerks in die Umgebung beinhalten [6]:

- Verkehrssicherheit und Nutzerfreundlichkeit
- Gestaltung und Einbindung in die Umgebung

An die Verkehrssicherheit und die Nutzerfreundlichkeit werden heute bei Straßen- und Eisenbahntunneln hohe Anforderungen gestellt. Mit dem Betriebskonzept für einen Tunnel wird zunächst der sichere Betrieb unter normalen Bedingungen geregelt. Insbesondere bei Straßentunneln spielt dabei die Beleuchtung eine wesentliche Rolle. Sie hat zur Aufgabe, das Sehvermögen des Verkehrsteilnehmers in dem Maße aufrecht zu erhalten, dass Gefahrensituationen bei einer Tunneldurchfahrt erst gar nicht entstehen können [19]. Der Übergang von Hell zu Dunkel am Anfang bzw. von Dunkel zu Hell am Ende eines Tunnels erfordert die Adaption des menschliche Auges an die sich ändernde Umgebungssituation, ohne dass das Sicherheitsniveau negativ beeinflusst wird (Abbildung 5). Im Bereich der Tunnelinnenstrecke sind die Beleuchtung und die Gestaltung der Tunnelwände von großer Bedeutung für eine sichere verkehrliche Nutzung. Insbesondere bei langen Tunneln ist die Gestaltung des Tunnelinneren ein Element zur Steigerung der Verkehrssicherheit. Es soll erreicht werden, dass die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer gewahrt bleibt, aber gleichzeitig keine allzu starke Ablenkung erfolgt.

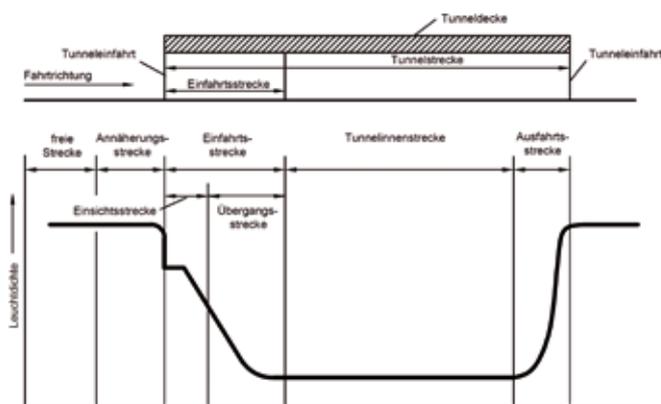


Abbildung 5
Begriffe und schematischer Verlauf der Leuchtdichte für einen Straßentunnel [19]

Für die technische Qualität eines Tunnelbauwerkes ist die Einhaltung der einschlägigen Vorschriften eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung. Hinsichtlich der Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit ist auf die entsprechenden Vorschriften zu verweisen. Beispielsweise ist in [20] die Bemessung der Beton- und Stahlbetonbauteile geregelt. Darüber hinaus gelten für die Planung und den Bau von Tunnelbauwerken in Deutschland weiterführende Vorschriften, beispielsweise für Straßentunnel die ZTV ING [21] bzw. für Eisenbahntunnel die Ril 853 der DB AG [22]. Dabei handelt es sich um Mindeststandards, die Tragkonstruktionen aus Beton und Stahlbeton für eine Lebensdauer von ca. 80 Jahren auslegen. Eine Verlängerung der geplanten Lebensdauer hat zwangsläufig eine Steigerung der technischen Qualität zur Folge. Sie wirkt sich positiv auf den Ressourcenverbrauch aus, da zukünftige Sanierungsmaßnahmen minimiert werden. Darüber hinaus wird auch die CO₂-Emission minimiert, die sich durch Verkehrsbehinderungen bei diesen Arbeiten ergeben. Die Aspekte der Dauerhaftigkeit werden in den aktuellen Vorschriftenwerken insbesondere durch konstruktive Regeln berücksichtigt. Beim Entwurf eines Tunnelbauwerkes haben folgende Punkte einen besonderen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit:

- Konstruktion und Bauweise
- Baustoff
- Detailsausbildung

Die Vorgehensweise und die Entscheidungsfindung sind hierfür nur teilweise in Regelwerken erfasst, sie obliegen primär der Kompetenz, Erfahrung und Verantwortung des planenden Ingenieurs [6].

Bei der Wahl des Baustoffs sind im Zuge der Planung und beim Bau von Tunneln besonders die Belange des Brandschutzes zu berücksichtigen. Durch die Zugabe von Polypropylenfasern kann beispielsweise bei dichten Betonen der Feuerwiderstand nachhaltig verbessert werden [23]. Die Dichtigkeit der Betonkonstruktionen ist insbesondere bei Straßentunneln wegen des Tausalzeintrages eine wesentliche Voraussetzung für eine lange Lebensdauer [24]. Gleiches gilt für die konstruktive Durchbildung der Details. Beispiele hierfür sind die Drainage und deren Wartungsmöglichkeit oder die Auflagerung bzw. der Anschluss von Lüfterdecken an die Tunnelchale [6].

4. Modulares Prozessmodell für Tunnelbauwerke

Die Komplexität eines gesamten Tunnelbauwerkes wird mit einer hierarchischen Strukturierung des Bauwerkes transparent und übersichtlich abgebildet (Abbildung 6). Ausgehend vom Gesamtsystem Tunnel wird mit Blick auf die Folgekosten eine Strukturierung in die Subsysteme Bauhilfsmaßnahmen, Baukonstruktion und Ausstattung vorgenommen. In der weiteren Untergliederung erfolgt eine Zerlegung in Module, die sich aus Elementen zusammensetzen. Die einzelnen Module und Elemente durchlaufen während des gesamten Lebenszyklus unterschied-

liche, zum Teil sich wiederholende Prozesse. Deren Umfang, Häufigkeit und Dauer variiert stark.

sämtliche Phasen und Prozesse über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes ein [8].

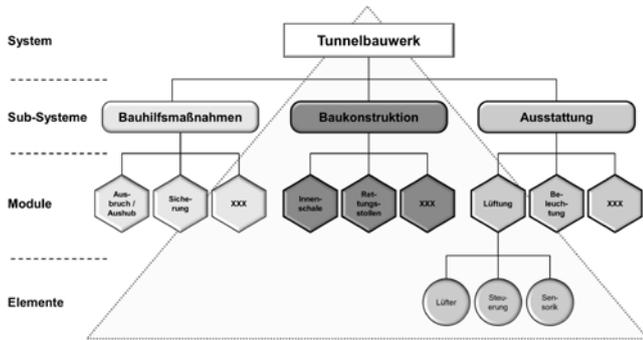


Abbildung 6 Hierarchische Strukturierung von Tunnelbauwerken [8]

Für eine aktive Gestaltung einer ganzheitlichen Nachhaltigkeit sind die Beeinflussbarkeit der einzelnen Parameter und deren gegenseitige Wechselwirkungen im Modell integriert [8]. Durch eine entsprechende Differenzierung des Bauwerkes und eine Einbeziehungen der Abhängigkeiten sind Optimierung- und Substitutionspotentiale einfacher zu realisieren.

Beispielsweise wird für die Beleuchtung eines Straßentunnels ein erheblicher Teil der gesamten Betriebskosten aufgewendet. Gleichzeitig ist die Beleuchtung mit den anderen Prozessen, Parametern und Bauteilen vernetzt (Abbildung 8). Mit der Kenntnis der gegenseitigen Abhängigkeiten ist durch eine gezielte Untersuchung verschiedener Projektvarianten eine Optimierung hinsichtlich der Nachhaltigkeitskriterien ohne größere Aufwendungen möglich.

Die Einbeziehung aller Module und der notwendigen Prozesse unter gleichzeitiger Beachtung des Parameters Zeit gelingt mit Hilfe eines modularen Prozessmodells (Abbildung 7) [8]. Dabei erfolgt eine Synthese von Bauhilfsmaßnahmen, Bauwerk und Tunnelausstattung.

Die Methodik zur Ermittlung der Nachhaltigkeit eines Tunnelbauwerkes mit dem modularen Prozessmodell basiert auf einer konsequenten Transformierung von mehrdimensionalen Kriterien in monetarisierte Nutzen bzw. Kosten. Mit Hilfe des in Abbildung 2 dargestellten Prozessschemas wird das mehrdimensionale Ausgangsproblem in einen eindimensionalen Lösungsansatz überführt. Der als Ergebnis kapitalisierte Nutzen bzw. die einheitenäquivalenten Kosten ermöglichen die Beurteilung der Nachhaltigkeit ohne weitere Transformierung und Gewichtung [6].

Die Bewertung der Nachhaltigkeit wird so modulweise vorgenommen. Durch Aggregation gleichgelagerter Prozesse bzw. übereinstimmender Lebensphasen erfolgt eine prozess- bzw. eine lebensphasenbezogene Auswertung der Nachhaltigkeitskriterien. Ein gezielter bauwerksübergreifender Vergleich einzelner Kriterien gewinnt durch diese Aufschlüsselung an Transparenz. Durch das Modell wird ein strukturiertes und nachvollziehbares Vorgehen für eine ganzheitliche Bewertung sowie ein erforderlicher Vergleich von Planungsalternativen ermöglicht. Das allgemeingültige, modular aufgebaute Strukturmodell bezieht

Dabei sind folgende Prozessschritte konsekutiv zu durchlaufen:

1. Festlegung des Untersuchungs- und Bewertungsrahmens
2. Bewertung sämtlicher Nachhaltigkeitskriterien
3. Monetarisierung von Nutzen
4. Transformation nicht monetarisierbarer Nutzen
5. Bestimmung der Nachhaltigkeit bzw. der Projektvorteilhaftigkeit und Bewertungsergebnis

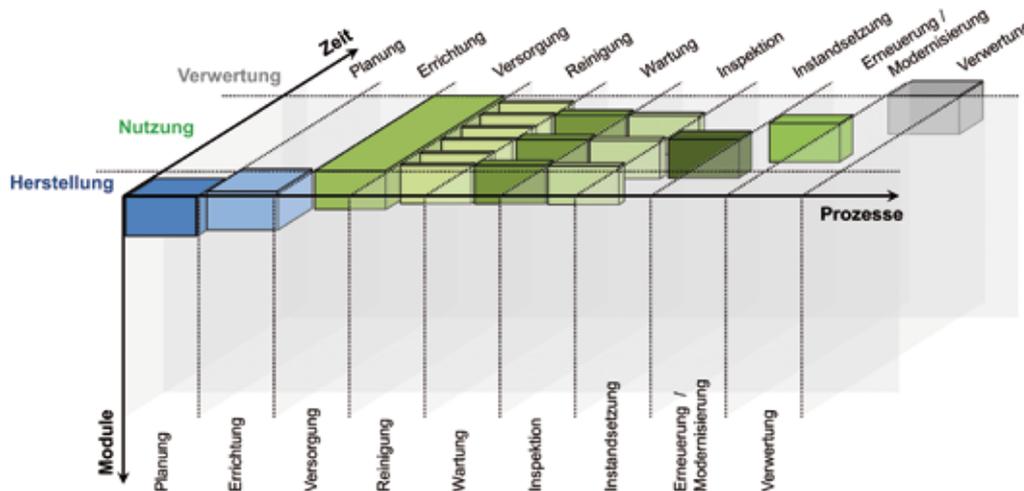
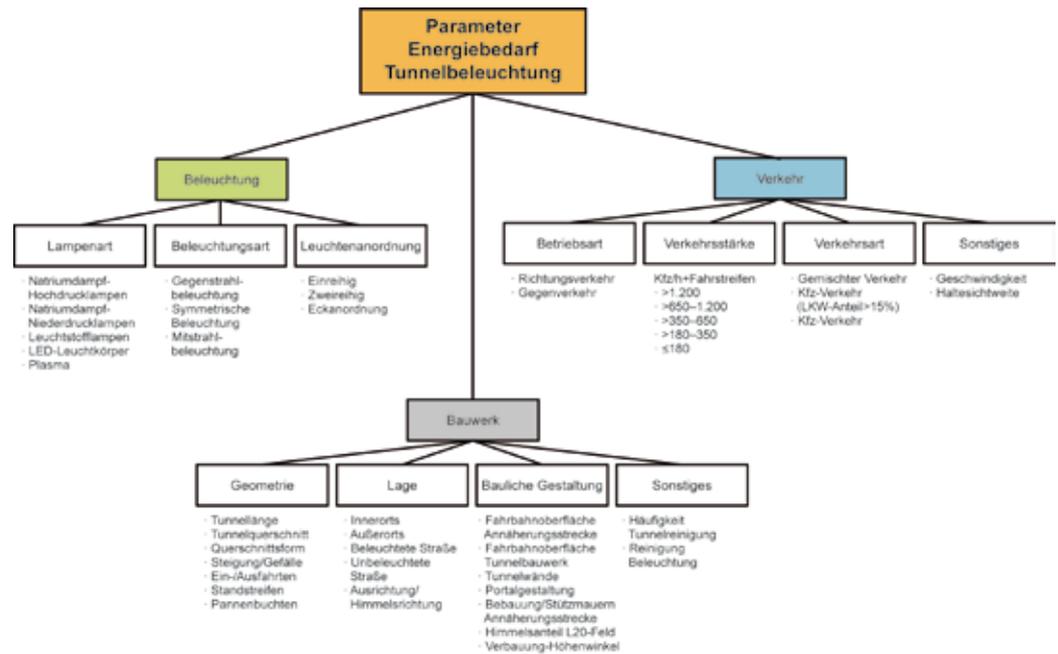


Abbildung 7 Modulares Prozessmodell für Tunnelbauwerke [8]

Abbildung 8

Darstellung der Abhängigkeiten am Beispiel der Tunnelbeleuchtung [13]
Im Modell sind analog zur Beleuchtung sämtliche Module, Prozesse usw. durch eine entsprechende Vernetzung berücksichtigt.



zu 1: Festlegung des Untersuchungs- und Bewertungsrahmens

In die Bewertung der Nachhaltigkeit von Tunnelbauwerken sind sämtliche gesellschaftsrelevante Nutzen und Kosten einzubeziehen [25]. Dazu erfolgt eine vollständige Erfassung aller Nachhaltigkeitsaspekte in Form von Bewertungskriterien. Der allgemeingültige Ansatz der drei wesentlichen Nachhaltigkeitsdimensionen – Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelle Aspekte – dient dabei als Ausgangssystematik. Die einzelnen Teilkriterien werden unter diesen Hauptkriterien eingeordnet. Eine mehrfache Berücksichtigung einzelner Nutzen oder auch nur einzelner Bestandteile gilt es zu vermeiden.

zu 2: Bewertung der Nachhaltigkeitskriterien

Für die Bewertung der einzelnen Nachhaltigkeitskriterien werden alle positiven und negativen Wirkungseffekte entsprechend dem Untersuchungsrahmen analysiert und erfasst. Der daraus resultierende jeweilige Nutzen (positiv oder negativ) ist für jedes Bewertungskriterium festzustellen. Einzelne Beispiele hierzu sind CO₂-Emissionen, Lebenszykluskosten oder soziokulturelle Qualität. Der gesamte Lebenszyklus wird in die Bewertung einbezogen. Zusätzlich werden die zeitlichen Parameter berücksichtigt. Zukünftige Nutzen und Kosten sind mit Hilfe der Kapitalwertmethode zeitlich zu diskontieren. Eine subjektive Beurteilung ist dadurch zu vermeiden, dass für die Bewertung der einzelnen Kriterien wissenschaftlich fundierte Berechnungsmethoden angewendet werden. Der Nutzen der einzelnen Nachhaltigkeitskriterien ist die Ausgangsbasis für die Überführung in die Vergleichsebene der Geldwerte [6].

zu 3: Monetarisierung von Nutzen

Die Monetarisierung ist die ökonomische Bewertung der einzelnen Nutzen und der daraus resultierenden Wirkungen. Durch die

Transformation erfolgt ein Übergang von mehrdimensionalen Entscheidungsgrößen zu einer auf Basis von Geldwerten eindimensionalen Vergleichsgröße.

Für die Monetarisierung der einzelnen Nutzen stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Ein allgemeingültiges Verfahren existiert bislang nicht, so dass abhängig vom jeweiligen Nutzen bzw. den vorliegenden Informationen und Randbedingungen eine geeignete Methodik zu wählen ist [6]. Unterschiedliche Methoden finden sich unter anderem in [26] und [27].

zu 4: Transformation der nicht monetarisierbaren Kriterien auf Basis von Expertenbefragung und Paarvergleich

Eine vollständige Erfassung aller Nutzen auf Basis monetärer Werte ist trotz einer Vielzahl an Bewertungsverfahren häufig nicht möglich. Grund hierfür sind unzureichende Datengrundlagen, besonders in frühen Planungsphasen, sowie Einschränkungen in der Sachbilanzanalyse und Folgebeurteilung. Um dennoch eine eindimensionale Vergleichbarkeit auf ökonomischer Ebene zu erhalten, ist eine Transformation von bislang nicht monetarisierbaren Wirkungen in äquivalente Geldwerte durchzuführen. Für die Transformation sind sämtliche Randbedingungen des jeweiligen Projekts einzubeziehen. Eine Projektion des Ergebnisses auf andere Projekte ist deshalb nicht möglich.

In [25] wird eine wissenschaftlich fundierte Vorgehensweise vorgestellt, die auf die Belange von Tunnelbauwerken übertragbar ist. Auf Basis eines hierarchisch additiven Gewichtungsvorgangs wird eine Bewertung von nachzuweisenden Wirkungen vorgenommen. Unter Einbeziehung von bisher in Geldwerten vorliegenden Nutzen erfolgt eine präferenzgestützte Bewertung durch eine Expertengruppe. Die Befragung der Experten ermög-

licht mit Hilfe einer Präferenzskala die Bestimmung der Wertigkeit der zu untersuchenden Wirkungen. Die Präferenzskala basiert auf dem Analytisch Hierarchischen Entscheidungsprozess (AHP). Durch Einschätzung der Nutzen bzw. Kosten im Paarvergleich mit Vergleichskriterien wird ein Erwartungswert für das entsprechende Kriterium abgeleitet [25].

zu 5: Bestimmung der Nachhaltigkeit bzw. der Projektvorteilhaftigkeit und Bewertungsergebnis

Durch Aggregation der monetarisierten, bewerteten Kriterien erfolgt eine Gesamtbewertung des Bauwerks. Dies bedeutet, dass bei Vorliegen eines positiven Gesamtwertes die positiven Effekte die negativen überwiegen und so die Kriterien der Nachhaltigkeit eingehalten sind. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit ist die Projektvariante mit dem größten Gesamtwert zu bevorzugen.

5. Fazit

Eine Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastrukturbauwerken ist bislang nicht Stand der Technik. Die Forschung zu diesen Themen steht am Anfang. Dennoch gibt es bereits wesentliche Ergebnisse, die schon in die Praxis Eingang finden können:

- Die Ökonomie kann mit vernetzten Modellen zur Lebenszykluskalkulation beurteilt werden.

- Die Ökologie wird mit der konsequenten Erfassung der Schadstoffe in Bau und Betrieb optimiert.
- Bei der soziokulturellen Säule der Nachhaltigkeit kommt es insbesondere auf die Methodik zur Erfassung der weichen Faktoren an.
- Die Prozessqualität berücksichtigt die umfassende Einbindung aller Projektbeteiligten und Projektbetroffenen.

Für alle Aspekte wurden wesentliche Verfahren vorgestellt. Für die praktische Anwendung kommt es darauf an, die hauptsächlichsten Einflussfaktoren zu identifizieren und die Nachhaltigkeitsbewertung auf diese zu beschränken. Der Ansatz erfolgt über alle Prozessphasen von der Projektidee bis zum Ende der Nutzungsdauer des Bauwerks.

Ziel der Nachhaltigkeitsbewertung ist dabei (noch) nicht die quantitative Zertifizierung individueller Bauwerke. Dazu fehlen abgesicherte Referenzwerte. Vielmehr wird mit Vergleichen von Projektvarianten die vorteilhafteste Variante bestimmt. Die transparente Nachhaltigkeitsbewertung wird die Qualität der Bauwerke langfristig steigern und nicht zuletzt die Akzeptanz von Großprojekten in der Gesellschaft sicherstellen.

Literaturverzeichnis

- [1] Deutsche Hypothekbank: Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft. Studie der Deutschen Hypothekbank, Hannover, 2012
- [2] Schwarz, J., Thieking, A., Büllsbach, J.: Nachhaltige Immobilien in Neubau und Bestand – Entwicklung des Managementprozesses. In: Praxis des Bauprozessmanagements – Großprojekte kostengünstig und termingerecht realisieren. Motzko, C. (Hrsg.), Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2013
- [3] Zinke, T., Diel, R., Mensinger, M., Umhenhofer, T.: Nachhaltigkeitsbewertung von Brückenbauwerken. In: Stahlbau 79 (2010), Heft 6; Ernst & Sohn Verlag, 2010, S. 448-455
- [4] Graubner, C-A., Mielecke, T.: Nachhaltige Ingenieurbauwerke. In: Bauingenieur, Band 85, Springer VDI Verlag, Düsseldorf, 2010, S. 331-340
- [5] Vogt, P.: Modell für die Lebenszykluskostenanalyse von Straßentunneln unter Beachtung technischer und finanzieller Unsicherheiten. Ruhr-Universität Bochum, Dissertation, Shaker Verlag, Aachen, 2013
- [6] Engelhardt, S., Keuser, M.; Schwarz, J.: Nachhaltigkeit im Tunnelbau. In: Betonkalender 2014, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2013 (in Druck)
- [7] DIN EN 15643-1: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 1: Allgemeine Randbedingungen. Beuth Verlag, Berlin, 2010
- [8] Thewes, M., Schwarz, J., Engelhardt, S., Vogt, P.: Lebenszykluskostenanalyse als Ansatz für die ökonomische Optimierung von Tunnelbauwerken. In: Forschung + Praxis, U-Verkehr und unterirdisches Bauen, STUVA Tagung 2013 (in Druck)
- [9] Lückmann, H.: Ökobilanz von Tunnelvortrieben im Vergleich von TBM-Vortrieb zur Spritzbetonbauweise mit Band- oder Dumperschutterung. Masterarbeit, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2012
- [10] Otto, J.: CO₂-Bilanz für Betone im Tunnelbau. Masterarbeit, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2013
- [11] BBT SE: Brenner Basistunnel, Umweltplanung, Erstellung des CO₂-Haushalts, Untersuchung der Nachhaltigkeit des Brenner Basistunnels im Hinblick auf seine CO₂-Emissionen. BBT SE, Innsbruck, 2010
- [12] DIN EN 15643-4: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität. Beuth Verlag, Berlin, 2012
- [13] Schwarz, J., Engelhardt, S.: Tunnel als Ingenieurbauwerke und technische Anlagen – Tunnelbauwerke und ihre Nutzungskosten. In: Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ. Prof. Dr. Ing. Manfred Keuser, Universität der Bundeswehr München, Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, Neubiberg, 2012, S. 243-253
- [14] Ahrens, M. A.: Lebensdauerorientierter Entwurf, Konstruktion, Nachrechnung. In: Festschrift Konrad Bergmeister – Lebensdauer von Bauwerken, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2013, S. 19-224
- [15] Bergmeister, K.: Was ist die Lebensdauer von Bauwerken? In: Festschrift Konrad Bergmeister – Lebensdauer von Bauwerken, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2013, S. 1-18
- [16] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Verordnung zur Berechnung von Ablösungsbeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstraßengesetz und dem Bundeswassergesetz (ABBV). Berlin, 2010
- [17] Welte, U.: Life Cycle Aspects of Electrical Road Tunnel Equipment. In: Routes/Roads 2011 – No. 350, S. 76–79
- [18] Schwarz, J., Engelhardt, S., Keuser, M.: Lebenszykluskostenrechnung – Eine ganzheitliche Betrachtung von Tunnelbauwerken. In: Festschrift Konrad Bergmeister – Lebensdauer von Bauwerken, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2013, S. 271–283
- [19] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), Ausgabe 2006. Köln, 2006
- [20] DIN EN 1992-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Beuth Verlag, Berlin, 2011
- [21] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING). Stand 12/2012
- [22] DB Netz AG: Ril 853: Eisenbahntunnel planen, bauen und instand setzen. Frankfurt a. M., Stand 03/2011
- [23] Hossler, D., Richter, E., Schnetgöke, R.: Brandversuche mit belasteten Tübbings. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz IBMB, TU Braunschweig, 2008
- [24] Schießl, P. et al.: Model Code for Service life design. fib Bulletin 34, Lausanne, 2006
- [25] Lissou, M.: Ganzheitliche Projektbewertung - Entwicklung eines Modells zur Nachhaltigkeitsbewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen – Umsetzung in Planung und Projektentscheidung. Universität der Bundeswehr, Dissertation, Neubiberg, 2013 (in Druck)
- [26] Becker, U. J., Becker, T., Gerlach, J.: Externe Autokosten in der EU-27 – Überblick über existierende Studien. Studie der TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Dresden, 2012
- [27] Umweltbundesamt: Ökonomische Bewertung von Umweltschäden - Methodenkongvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Desau, 2007

Innovation im Spannbetonbrückenbau – Haben wir aus der Vergangenheit gelernt?



Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser

Prof. Manfred Keuser (geb. 1952 in Mayen) studierte von 1973 bis 1979 Bauingenieurwesen an der TH Darmstadt. 1985 schloss er, ebenfalls an der TH Darmstadt seine Promotion ab. 1999 übernahm er die Professur für Massivbau am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau an der Universität der Bundeswehr München.

E-Mail: manfred.keuser@unibw.de



M.Eng. Michael Niederwald

M.Eng. Michael Niederwald (geb. 1986 in Gräfelfing) studierte von 2007 bis 2012 Bauingenieurwesens an der HS München. Seit 2012 ist er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Professur für Massivbau, an der Universität der Bundeswehr München.

E-Mail: michael.niederwald@unibw.de

Zusammenfassung

Die Idee der Vorspannung von Betonbauteilen kam bereits vor 125 Jahren auf. Die Entwicklung dieser Bauweise wurde seit dieser Zeit immer weiter vorangetrieben. Insbesondere im Brückenbau hat sich die Spannbetonbauweise bewährt. Der Großteil der Brücken im bundesdeutschen Fernstraßennetz wurde aus vorgespanntem Beton errichtet. Mit der Anwendung dieser Konstruktionsart kam es aber im Laufe der Zeit auch immer wieder zu Schäden, die Auslöser für Forschungsvorhaben waren. Dieser Beitrag gibt einen kurzen Abriss der geschichtlichen Entwicklung des Spannbetonbaus im besonderen Hinblick auf dessen Einsatz im Brückenbau. Die dabei aufgetretenen Schäden und technischen Schwierigkeiten werden geschildert und die dadurch

ausgelösten Forschungsarbeiten werden dargelegt. Diese bilden die Grundlage für die Innovationen der letzten zwei Jahrzehnte im Spannbetonbrückenbau insbesondere im Hinblick auf die Verbesserung der Robustheit und Dauerhaftigkeit der Bauwerke.

1. Einleitung

Bereits im Jahr 1888 meldete P.H. Jackson (San Francisco) das erste Patent für vorgespannte Fertigteilbodenplatten an. Die Spannlieder wurden ohne Verbund vorgespannt und mechanisch, z. B. durch Muttern und Keile, verankert [17]. Unabhängig voneinander ließ sich W. Doehring (Berlin) im selben Jahr ein Vorspannprinzip patentieren, bei dem der Betonquerschnitt mit vorgespannten Drähten durchzogen wurde, die durch Ver-

bund verankert werden sollten [17],[23]. Aufgrund der niedrigen Festigkeiten des Spannstahls und der hohen zeitabhängigen Verformungsanteile des Betons zur damaligen Zeit dauerte es jedoch bis Ende der 1920er Jahre, bis die Bauweise des Spannbetons praktisch umgesetzt werden konnte. Im Brückenbau kam der Spannbeton in Deutschland zum ersten Mal 1936 beim Bau der Bahnhofsbrücke in Aue, Sachsen zum Einsatz, die extern vorgespannt wurde. Die erste Spannbetonbrücke mit interner Vorspannung wurde 1941 über die Marne bei Luzancy, Frankreich nach dem Entwurf von Freyssinet errichtet. Die interne Vorspannung wurde ab diesem Zeitpunkt als bevorzugte Vorspannart eingesetzt. Die Idee der externen Vorspannung wurde erst Jahrzehnte später wieder aufgegriffen. Die ersten beiden Nachkriegsjahrzehnte waren geprägt durch eine rasche Entwicklung des Spannbetonbrückenbaus [32]. Insbesondere bei gerader Spannliedführung, wie der Primärvorspannung beim Taktschiebeverfahren und beim Freivorbau, hatten sich in dieser Zeit DYWIDAG-Stabspannglieder St 835/1030 durchgesetzt. Daneben gab es weitere Systeme, wie beispielsweise das von Fritz Leonhardt und Willi Baur entwickelte Leoba-Verfahren mit Sonderverankerungen der Drahtbündel bzw. mit sogenannten konzentrierten Spannliedern für sehr große Spannkkräfte [17], aber auch die Spannverfahren von BBRV-Suspa, Philipp Holzmann und anderer Firmen fanden breite Anwendung. In dieser Zeit wurden auch die heute noch üblichen Bauverfahren Freivorbau (Finsterwalder), Taktschieben (Leonhardt, Andrä und Baur) und die Herstellung auf Vorschubrüstung entwickelt. Mit dem Freivorbau erschloss sich dem Massivbau ein Spannweitenbereich, der vorher dem Stahlbau vorbehalten war. Die Lahnbrücke bei Balduinstein (1951), die Nibelungenbrücke Worms (1953) und die Rheinbrücke Bendorf (1965) mit einer Hauptspannweite von 208 m sind herausragende Beispiele.

Die immer fortwährende Entwicklung der Bauweise als auch der Bauverfahren hat im Wesentlichen dazu beigetragen, dass die Spannbetonbauweise eine vorherrschende Stellung im Brückenbau eingenommen hat. Aktuelle Beispiele, wie die externe und interne verbundlose Vorspannung, sollen in diesem Beitrag näher erläutert werden.

Im Vergleich zum Stahlbeton bietet der Spannbeton erhebliche Vorteile, die insbesondere bei den großen Spannweiten des Brückenbaus zum Tragen kommen: weitgehende Rissefreiheit, geringe Verformungen und hohe Tragfähigkeit. In Verbindung mit den positiven Eigenschaften der genannten Bauverfahren, die eine wirtschaftliche Errichtung weitgespannter, hoch über Gelände geführter oder sehr langer Betonbrücken [32] ermöglichen, hat dazu geführt, dass der Großteil der Brücken im bundesdeutschen Fernstraßennetz in Spannbeton errichtet wurde. Die rasante Entwicklung des Anteils der Brückenfläche der Spannbetonbrücken innerhalb der deutschen Bundesfernstraßen ist eindrucksvoll in Abbildung 1 dargestellt.

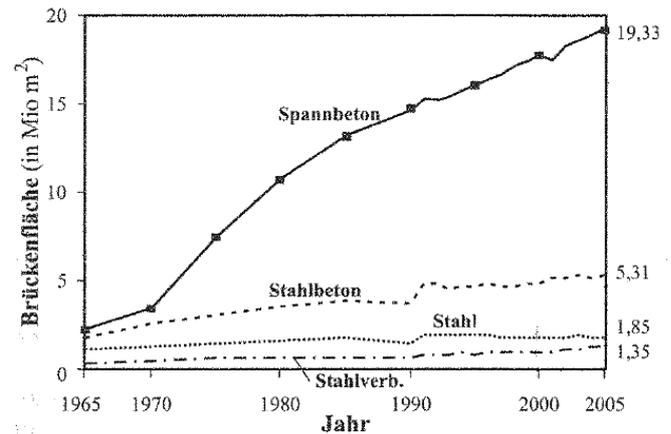


Abbildung 1 Anteil der Brückenfläche der Bundesfernstraßen nach Bauart [23]

Die Entwicklung der Spannbetonbauweise im Brückenbau war jedoch nicht nur von Erfolg gekrönt. Es galt auch immer wieder technische Schwierigkeiten zu bewältigen, die oft erst anhand aufgetretener Schäden erkannt wurden. In den 1970er Jahren wurden beispielsweise diverse ermüdungsbedingte Schäden an Spannliedkopplungen festgestellt. Es kam auch zu Schadensfällen an den Spannstählen selbst, die in den 1990er Jahren vermehrt entdeckt wurden. Die Ursache hierfür war die Spannungsrissskorrosion für die einige Spannstahlsorten, vornehmlich produziert in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts, anfällig waren. Bei der Bauausführung gab es Schwierigkeiten beim Verpressen von Spannliedern mit nachträglichem Verbund, was sich negativ auf die Dauerhaftigkeit der betroffenen Bauteile auswirkt. Das Unterschätzen der Beanspruchungen aus Temperatur, Kriechen und Schwinden und die im Vergleich zu heute noch unterentwickelte Rechentechnik führten in vielen Fällen dazu, dass die örtlichen Beanspruchungen nicht mit der erforderlichen Genauigkeit erfasst werden konnten.

2. Aufgetretene Schäden und Probleme

2.1 Schäden an Spannliedkopplungen

Aufgrund der Länge der zu errichtenden Bauwerke im Brückenbau und der erforderlichen abschnittswisen Herstellung geschuldet, können Spannliedern in der Regel nicht über die gesamte Bauwerkslänge kontinuierlich geführt werden, sondern müssen an Arbeitsfugen gekoppelt bzw. verankert werden. Ab Mitte der 1970er Jahre hat man vermehrt Schäden an Spannliedkopplungen festgestellt. König et al. [15] zufolge wies der Beton im Bereich der meisten Koppelfugen, die vor 1975 hergestellt wurden, Risse auf.

Problematisch am Übergang in den Zustand II ist neben der zunehmenden Korrosionsanfälligkeit auch die erhöhte Gefahr eines spröden Ermüdungsbruchs infolge der großen Dauerschwingbelastung. Ein Beispiel für einen Spannstahlbruch an einer schadhaften Koppelstelle ist in Abbildung 2 zu erkennen. Ursächlich für die Rissbildung an Spanngliedkopplungen ist in erster Linie die geringe Menge an Betonstahlbewehrung, die früher eingebaut wurde. Das Rissverhalten im Koppelfugenbereich wird begünstigt, wenn alle Spannglieder im Querschnitt der Arbeitsfuge gekoppelt werden. So stehen alle Spannglieder eines Bauabschnitts zum Lastabtrag zur Verfügung, jedoch kommt es aufgrund der großen Ankerplatten zu einer großen Querschnittschwächung im Bereich der Arbeitsfuge, was die Gefahr der Rissbildung erhöht.



Abbildung 2
Beispiel eines Spannstahlbruchs an einer schadhaften Koppelstelle [14]

Wegen der geringen Dauerschwingfestigkeit der Spanngliedkopplungen ist es gängige Praxis die Koppelfugen an Nullstellen des Biegemomentenverlaufs anzuordnen. Bereits 1979 wies Kordina [16] darauf hin, dass die Lage des Momentennullpunkts eines Durchlaufträgers nicht nur aufgrund der Laststellung der Verkehrslast variiert, sondern auch für das Eigengewicht. Dies ist bedingt durch Ungenauigkeiten in den Lastannahmen, die aus der Streuung der Rohdichte des Betons sowie des Querschnitts der eingelegten Bewehrung resultieren. Diesen Umständen geschuldet, erfahren die Koppelfugen in der Realität häufig höhere Spannungsschwingbreiten als errechnet.

Leonhardt [18] führte 1979 aus, dass häufig Temperatureinwirkungen als Ursache für die Bildung von breiten Rissen festzustellen sind. Aufgrund der Temperaturunterschiede zwischen Ober- und Unterseite eines Brückenüberbaus stellen sich instationäre Temperaturfelder ein, die zu nichtlinearen Eigenspannungszuständen über die Querschnittshöhe führen. Gerade an Arbeitsfugen ist die Betonzugfestigkeit bei abschnittsweiser Herstellung gering, was im Falle einer nicht ausreichend dimen-

sionierten rissverteilenden Bewehrung zur Bildung von groben Rissen im Beton führt.

In Ermangelung geeigneter Recheninstrumente wurde auch für Bereiche mit Koppelfugen bzw. Verankerungen von der Bernoulli-Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte ausgegangen, welche jedoch aufgrund der örtlichen Einleitung der Vorspannkkräfte nicht gültig ist. Infolge der lokal sehr großen Druckspannungen und der großen Querschnittsflächen der Kopplungen werden die Kriechverformungen verstärkt, wodurch es zu höheren Spannkraftverlusten kommt. Diese Phänomene haben nichtlineare Spannungsverteilungen im Koppelfugenquerschnitt zur Folge, welche im Zugbereich zu Rissbildung im Beton führen. Mit den vereinfachten Rechenmethoden, die früher angewendet wurden, wurden diese Effekte häufig vernachlässigt.

2.2 Mindest- und Robustheitsbewehrung

Bis etwa Mitte der 1960er Jahre vertrat man in der Fachwelt die Annahme, dass Spannbetonbauwerke bei geeigneter Wahl der Vorspannung rissfrei seien. Man glaubte, dass bei ausreichend hoher Vorspannung keine Zugspannungen im Bauteil auftreten. Aus dieser Haltung heraus, erstellte man für viele Brücken Sonderentwürfe bei denen man die Höhe der Vorspannung so wählte, dass die schlaffe Bewehrung minimiert wurde. Im Jahre 1966 erweiterte man die DIN 4227 um die „Zusätzlichen Bestimmungen zu DIN 4227 für Brücken aus Spannbeton“ um den dabei gemachten negativen Erfahrungen Rechnung zu tragen [32]. Man stellte fest, dass durch rechnerisch nicht berücksichtigte Einwirkungen, wie beispielsweise Zwangskräfte infolge Temperatur, doch Risse entstehen. Infolge dessen erhob man die Forderung nach einer Mindestbewehrung. Ab Anfang der 1990er Jahre wurde eine weitere Art der Mindestbewehrung verlangt. Neben der Begrenzung der Rissbreiten sollte sichergestellt werden, dass die Tragwerke ausreichend robust sind. Die dafür geforderte Robustheitsbewehrung soll im Falle eines Ausfalls einzelner Spannglieder gewährleisten, dass das Tragwerk nicht spröde, sondern mit ausreichender Vorankündigung versagt.

2.3 Gefährdung des Spannstahls durch Spannungsrisskorrosion

Bei einigen Spannbetonbrücken kam es in der Zeit zwischen Ende der 1950er und Anfang der 1970er Jahre zu Brüchen von Spannstählen kurz nach oder während der Bauzeit [19]. Die Brüche traten infolge Spannungsrisskorrosion spröde und ohne Vorankündigung auf. Anfang der 1990er Jahre wurden vereinzelt Spannstahlbrüche an etwa 30 Jahre alten Spannbetonbauteilen mit Spanngliedern im nachträglichen Verbund festgestellt, obwohl sich die Bauteile in trockener Umgebung befanden und die Hüllrohre ordnungsgemäß verpresst waren [30]. Die gebrochenen Spannstähle waren vergütet und wiesen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion auf. Betroffen

hiervon sind nur wenige Chargen von Spannstählen, wie beispielsweise vergüteter Spannstahl St 1420/1570 mit einer ovalen Querschnittsform, die unter den Handelsnamen „Neptun“ und „Sigma oval“ bekannt sind, oder auch Spannstahl St 1370/1570 aus dem Stahl- und Walzwerk Henningsdorf. Einer der bekanntesten Schadensfälle, welcher u. a. auf Spannungsrisskorrosion zurückgeführt wurde, ist der Teileinsturz der Berliner Kongresshalle im Jahre 1980 [23]. Im Brückenbau traten bisher keine schwerwiegenden Fälle auf, die durch diese Form der Korrosion verursacht wurden.

Als Spannungsrisskorrosion bezeichnet man einen Korrosionsangriff, bei dem gleichzeitig eine Zugspannung einwirkt. Diesen Prozess begünstigen lokale Fehlstellen, von denen aus ein Risswachstum einsetzt. Gefährlich im Unterschied zu anderen Korrosionsarten ist die erhöhte Neigung zu Sprödbrüchen des Spannstahls ohne vorherige augenscheinlich erkennbare Schädigungen. Anhand von Untersuchungen an aufgetretenen Schadensfällen konnte man feststellen, dass Anrisse im Wesentlichen bereits während der Bauzeit auftreten und das Risswachstum innerhalb des verpressten Hüllrohres stattfindet [19]. Bertram et al. zufolge, tritt Risswachstum bei anrissbehafteten Drähten selbst im alkalischen Milieu des Zementsteins auf [2]. Die Phase der Rissausbreitung dauert in vielen Fällen wesentlich länger als die Phase der Anrissbildung. Dadurch kann es auch Jahre nach der Fertigstellung eines Bauwerks durch verzögerte Spannungsrisskorrosion zu Spannstahlbrüchen kommen. In Abbildung 3 ist ein Beispiel für eine typische Bruchfläche infolge Spannungsrisskorrosion mit zwei dunklen, linsenförmigen Anrissen und mattgrauer Restbruchfläche dargestellt [19].



Abbildung 3
Bruchfläche eines Spannstahls infolge
Spannungsrisskorrosion [19]

Da davon ausgegangen werden kann, dass Anrisse der Spanndrähte vor dem Verpressen der Hüllrohre entstehen, ist entschei-

dend wie die Spannglieder transportiert, gelagert und eingebaut werden. Grundsätzlich sind sie so zu lagern, dass korrosionsauslösende Feuchtigkeit keinen Zutritt zum Spannstahl hat. Auch muss sichergestellt sein, dass die Spannglieder keine mechanischen Beschädigungen erleiden. Im eingebauten Zustand vor dem Verpressvorgang ist das Feuchteangebot ebenfalls zu begrenzen. Eine Darstellung möglicher Randbedingungen, die auslösend für Spannungsrisskorrosion vor dem Verpressen der Hüllrohre sein können, ist in Abbildung 4 zu sehen.

Das Phänomen der Spannungsrisskorrosion ist nach wie vor nicht vollständig erklärbar und weiterhin Gegenstand der Forschung.

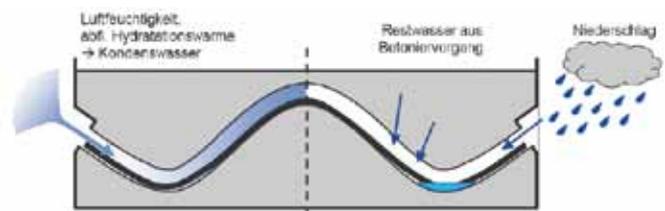


Abbildung 4
Randbedingungen für die Entstehung von
Spannungsrisskorrosion [19]

2.4 Verpress- und Betonierfehler bei internen Spanngliedern in nachträglichem Verbund

Zur Sicherstellung des Verbunds zwischen Spannglied und Bauteil und zur Gewährleistung eines ausreichenden Korrosionsschutzes der Spannbewehrung werden Hüllrohre nach dem Vorspannen mit Zementmörtel verpresst. Bei diesem Vorgang kam es in der Praxis jedoch immer wieder zu Problemen, die dazu führten, dass Spannglieder nur unvollständig von Einpressmörtel umgeben waren. In Abbildung 5 ist ein teilweise unverpresstes Spannglied dargestellt.



Abbildung 5
Beispiel für
unverpresste
Spanndrähte
im Hüllrohr [9]

Ursächlich für das Entstehen von unzureichender Verpressung sind zum einen Lufteinschlüsse, die insbesondere beim nach unten gerichteten Füllen, aber auch bei Querschnittsaufweitungen der Hüllrohre entstehen. In Abbildung 6 sind die Ursachen für die Entstehung von Lufteinschlüssen anschaulich aufgezeigt. Eine weitere Ursache für das Auftreten von Fehlstellen sind Hohlräume durch Wasserabsonderung, die vor allem bei horizontal verlaufenden Spanngliedern oder in den dort angeschlossenen Entlüftungsrohren entstehen [9]. Bei Temperaturerhöhungen während des Einpressens kann es zu vorzeitigen Verschlechterungen der Fließeigenschaften des Mörtels, Undichtigkeiten mit Wasserausfilterungen sowie Entmischungerscheinungen kommen [7]. Infolgedessen treten Verstopfungen des Hüllrohres auf, die für Fehlstellen verantwortlich sind.

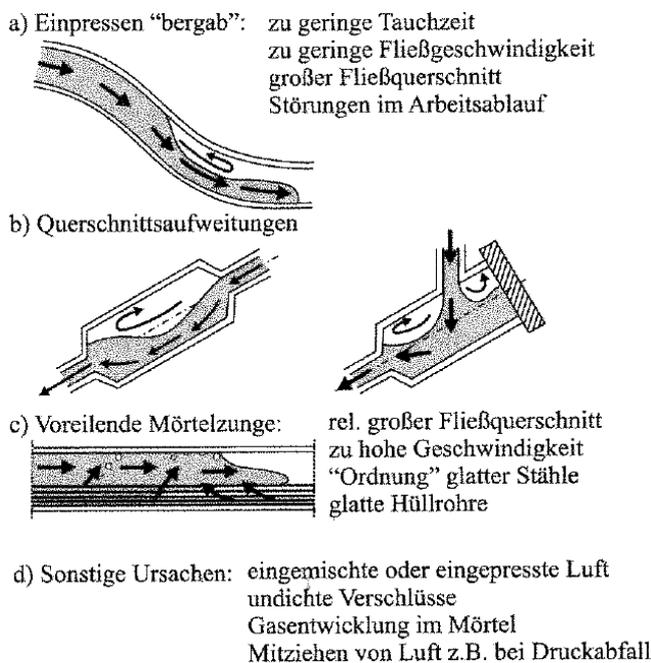


Abbildung 6
Ursachen und Randbedingungen für das Entstehen von Lufteinschlüssen [23]

Teilweise oder vollständig unverpresste Hüllrohre sind jedoch nicht die einzige technische Schwierigkeit, die durch mangelhafte Ausführung beim Bau von Spannbetonbrücken auftreten kann. Wurzer [31] berichtet von einem Fall, bei dem Schäden durch das Aufschwimmen von einzelnen Spanngliedern während der Betonage entstanden. Bei dem Schadensfall handelt es sich um eine Hohlkastenbrücke, die in Mischbauweise im Taktschiebverfahren erstellt wurde. Vorgespannt wurde der Überbau mit in nachträglichen Verbund liegenden zentrischen Spanngliedern in Fahrbahn- und Bodenplatte sowie mit externen Spanngliedern im Inneren des Hohlkastens. Nach dem Vorspannen und Verpressen der internen Spannglieder wurden breite Längsrisse in der Bodenplatte sichtbar. Grund hierfür war die unplanmäßige Lage

des Spannstahls durch das Aufschwimmen beim Betonieren. In Abbildung 7 ist der Querschnitt der Bodenplatte mit den aufgeschwommenen internen Spanngliedern und deren Soll-Lage dargestellt.

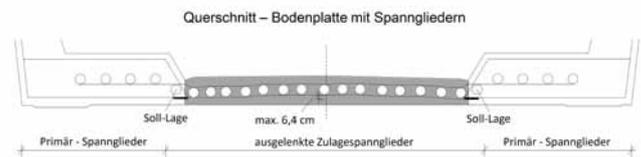


Abbildung 7
Querschnitt durch die Bodenplatte mit aufgeschwommenen Spanngliedern [31]

3. Erforschung der Schadensursachen

3.1 Spanngliedkopplungen

Nach den ersten aufgetretenen Schadensfällen in Form von Rissen im Beton an den Koppelfugen in den 1970er Jahren, wurde schnell klar, dass eine der Ursachen darin zu finden war, dass die bestehenden Spannbetonbrücken nicht ausreichend für Temperaturbeanspruchung bemessen wurden. Die damals gültige DIN 1072 stellte zwar die Forderung nach einem rechnerischen Ansatz von Temperaturschwankungen, d. h. nach einer Temperaturänderung im Gesamtbauwerk, jedoch war die Berücksichtigung eines linearen Temperaturgradienten nicht gefordert [16]. Dieser Temperaturunterschied zwischen Ober- und Unterseite des Brückenüberbaus führt bei statisch unbestimmten Systemen zu Zwangsbiegemomenten und damit zu Biegespannungen, die in den meisten Fällen die Biegezugfestigkeit des Betons überschreiten. Mit Fortschreibung der Norm wurde zwar der Ansatz eines Temperaturgradienten gefordert, dieser war aber mit den anzusetzenden Werten von $\Delta T_{M, \text{pos}} = 7 \text{ K}$ und $\Delta T_{M, \text{neg}} = -3,5 \text{ K}$ oftmals nicht ausreichend. Erst mit Einführung der DIN-Fachberichte im Brückenbau im Jahr 2002 wurden diese Werte deutlich erhöht.

Durch die Entwicklung neuer Rechenmethoden war es möglich Ende der 1990er Jahre die Temperatureinwirkungen auf Betonbrücken durch Klimaeinflüsse eingehender zu untersuchen. Specht und Fouad [25],[26] führten umfangreiche nichtlineare Simulationen von instationären Temperaufeldern in Bauwerken durch und gaben für Kastenträger die auftretenden Maximalwerte in Abhängigkeit der Bauteildicken an.

Das Hauptproblem, das durch die Rissbildung im Beton an den Koppelfugen abschnittsweise hergestellter Spannbetonbrücken entsteht, ist die Auswirkung auf das Ermüdungsverhalten der Spanngliedkopplungen. Diesen Zusammenhang haben Kö-

nig und Gerhardt [13] Mitte der 1980er Jahre erforscht, um die Betriebsfestigkeit von Spannbetonbrücken im Koppelfugenbereich beurteilen zu können. Hierfür wurden u. a. die Ursachen für die Rissbildung an den Koppelfugen, der Einfluss verschiedener Bauverfahren und das Ermüdungsverhalten einbetonierter Spanngliedkopplungen untersucht.

Die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Rissursachen und der Auswirkungen auf die Ermüdungssicherheit wurden sukzessive in die Berechnungs- und Konstruktionsvorschriften übernommen, um bei neu zu errichtenden Bauwerken Schäden im Koppelfugenbereich zu vermeiden. Bei bestehenden Spannbetonbrücken, die zu einem früheren Zeitpunkt gebaut wurden, ist die Gefahr eines spröden Ermüdungsbruchs nach wie vor gegeben. Dieses Risiko verlangt nach einer Beurteilung, was zu einer intensiven Forschungsarbeit geführt hat, zumal man feststellen musste, dass numerische Berechnungen allein zur Einschätzung nicht ausreichend sind. Penka [21] hat deshalb ein Verfahren aufgezeigt, welches numerische Simulationen mit den Ergebnissen aus Langzeitmessungen an Koppelfugen unter gleichzeitiger Temperatur- und Verkehrseinwirkungen kombiniert. In Abbildung 8 ist ein Beispiel für ein System zur Messung der Rissbewegung an einer Koppelfuge dargestellt.

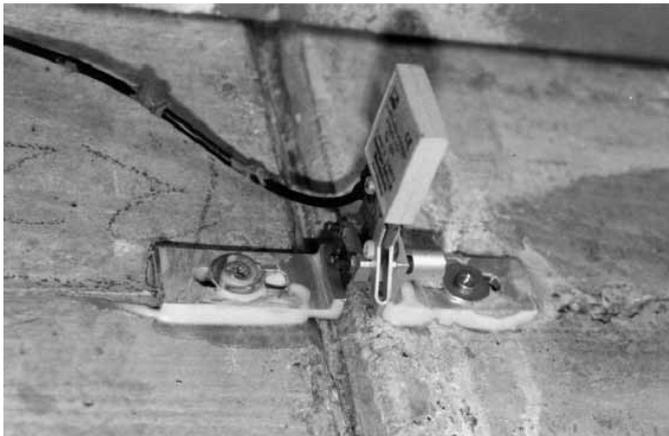


Abbildung 8
Beispiel für ein Messsystem an einer Koppelfuge [21]

3.2 Rechenverfahren

Aufgrund fehlender ausreichend leistungsfähiger Recheninstrumente wurde für die Berechnung der Beanspruchungen im Bereich der Koppelfuge von der Bernoulli-Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte ausgegangen. Diese verliert jedoch im Bereich der Arbeitsfuge ihre Gültigkeit. Durch die örtlich eingeleitete Vorspannkraft stellt sich vielmehr ein Scheibenspannungszustand unter einer Randpunktlast ein. Durch die zeitliche Abfolge bei der abschnittswisen Herstellung der einzelnen Bauabschnitte entstehen zusätzliche Zwangsbeanspruchungen

an den Koppelfugen. Nach Erhärten des ersten Abschnitts wird der nächste vorgespannt, wodurch die Ankerkräfte an der vorangehenden Fuge aufgehoben werden. Da aber Be- und Entlastung der Arbeitsfuge an zwei unterschiedlichen statischen Systemen stattfindet – Belastung am freien Scheibenrand und Entlastung im Inneren der Scheibe – verbleiben Zusatzspannungen an der Ankerstelle. Diese Zusammenhänge werden durch König und Gerhardt recht ausführlich beschrieben [13].

Die hohen konzentrierten Druckspannungen an der Spanngliedverankerung führen zu Kriechverformungen, die unmittelbar hinter der Ankerkonstruktion Zugspannungen erzeugen, welche durch eine lokale Rückhängebewehrung aufzunehmen sind. In Abbildung 9 sind die sich einstellenden Kriechverformungen und die nichtlinearen Spannungen sowie die nach der Bernoulli-Hypothese ermittelten Spannungsverläufe an einer Koppelfuge dargestellt. Des Weiteren ist die erforderliche Rückhängebewehrung zu erkennen.

Erst die weiterentwickelte Rechentechnik, wie beispielsweise die Finite-Element-Methode, hat es möglich gemacht, diese Zusammenhänge rechnerisch zu erfassen und dadurch Schäden zu vermeiden.

Die nichtlineare Spannungsverteilung in Koppelfugenquerschnitte wurde eingehend von Mehlhorn erforscht [20].

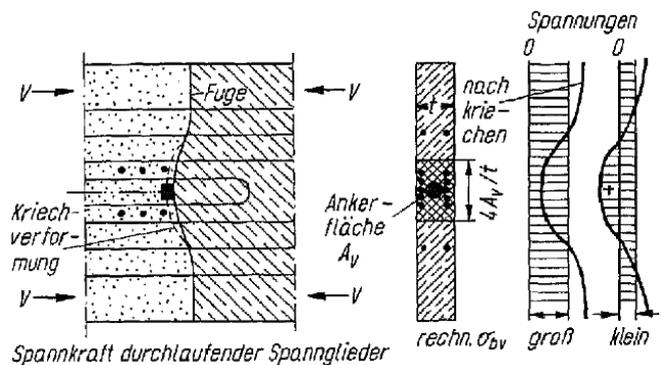


Abbildung 9
Kriechverformung, Spannungen und Rückhängebewehrung an der Koppelfuge [18]

3.3 Spannungsrisskorrosion

Für Brückenbauwerke, die mit spannungsrisskorrosionsempfindlichen Spannstahl vorgespannt wurden, besteht die Gefahr eines plötzlichen Versagens ohne Vorankündigung, wenn unbemerkt Spannstahlbrüche auftreten und zum Ausfall von einzelnen oder mehreren Spanngliedern führen. Um das Risiko eines Versagens ohne Vorankündigung einer Spannbetonbrücke beurteilen zu können, wurde ab Anfang der 1990er Jahre versucht, hierfür geeignete Verfahren zu entwickeln. Die Überlegung bestand

darin, sicherzustellen, dass sich ein Versagen infolge von Spannstahlbrüchen durch große Verformungen oder durch Bildung breiter Risse im Beton ankündigt. König et al. [11],[12] haben beispielsweise hierfür ein mechanisch begründetes Verfahren vorgestellt, das das Ankündungsverhalten querschnittsweise untersucht. Demnach ist ein ausreichendes Ankündungsverhalten sichergestellt, wenn das sogenannte „Riss-vor-Bruch-Kriterium“ erfüllt ist. Hierbei wird davon ausgegangen, dass für das Ankündungsverhalten nicht Schub- sondern Biegerisse maßgebend werden. Um zu gewährleisten, dass die Ankündigung unter realen Verhältnissen auch erkannt wird, wird als Bedingung für die Rissbildung die häufige Lastkombination, d. h. ständige Last und 40 bis 60 Prozent der Verkehrslast, gewählt. Für diese Einwirkung wird die zum Zeitpunkt der Rissbildung vorhandene Restspannstahlfläche bestimmt, aus der wiederum das aufnehmbare Moment des Querschnitts errechnet wird. Ein ausreichendes Ankündungsverhalten des Bauwerks ist dann gegeben, wenn das so ermittelte Biegemoment größer ist als das Moment infolge Volllast.

Zur Bestätigung der theoretischen Ansätze dieses Nachweisverfahrens führten König et al. [12] Versuche durch, die zeigen sollten, ob die Rissbildung beim erwarteten Ausfallgrad der Spannglieder auch tatsächlich eintritt. In Abbildung 10 ist der Versuchsaufbau und die Entwicklung der Rissbreite für verschiedene Laststufen dargestellt.

Des Weiteren sollte bei den Versuchen eruiert werden, inwieweit sich die örtlichen Scheibenspannungen auf das Ankündungsverhalten auswirken, die durch die Rückverankerung der ausfallenden Vorspannkraft entstehen. Hierzu wurde unter Last ein Teil der Spannbewehrung durch Bohren zerstört. Die verwendete Bohrvorrichtung ist ebenfalls in Abbildung 10 dargestellt.

Nachteilig bei dem oben beschriebenen querschnittswisen Nachweisverfahren eines ausreichenden Ankündungsverhaltens nach dem „Riss-vor-Bruch-Kriterium“ ist, dass in Berei-

chen mit geringen Beanspruchungen sehr viel Spannstahl ausfallen muss, bevor ein Riss auftritt. In manchen Fällen wird die Betonzugfestigkeit selbst dann nicht überschritten, wenn die gesamte Spannstahlfläche ausfällt. Wenn in diesen Bereichen zudem wenig Betonstahlbewehrung vorhanden ist, lässt sich eine Restsicherheit oftmals nicht nachweisen. Ist jedoch in den angrenzenden Trägerbereichen eine ausreichende Restsicherheit gegeben, so werden sich dort fortschreitende Spanngliedbrüche durchaus ankündigen. Diese Korrelation zwischen den benachbarten Querschnitten geht im Nachweisverfahren nicht ein. Lingemann [19] hat deshalb ein stochastisches Verfahren zur Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit eines rechnerischen Versagens ohne Vorankündigung für Bauwerke entwickelt, bei denen mechanisch-querschnittsweise kein ausreichendes Ankündungsverhalten nachgewiesen werden kann. Für Eisenbahnbrücken der Deutschen Bundesbahn wird derzeit von Tue et al. [1] ein Nachrechnungskonzept erarbeitet, das das Ankündungsverhalten von Bauwerken mit spannungsrissegefährdetem Spannstählen beurteilt.

3.4 Verpressen von Hüllrohren bei Vorspannung in nachträglichem Verbund

Aufgrund der aufgetretenen Fehlstellen beim Verpressen von Spanngliedern in nachträglichem Verbund gab es Bestrebungen, die Zuverlässigkeit des Verpressvorgangs, gerade im Hinblick auf die Unwägbarkeiten, die auf der Baustelle herrschen, zu verbessern. Rostásy und Gutsch [24] haben hierfür Versuche durchgeführt, die die Zusammenhänge zwischen physikalisch-chemischen Zementeigenschaften und Frischbetonmörteleigenschaften sowie den Einfluss unterschiedlicher Temperaturen auf die Mörtleigenschaften aufzeigen. Zudem wurde das Strömungsverhalten des Zementmörtels innerhalb der Spannkäule eingehender untersucht.

Wie sich Fehlstellen im Einpressmörtel auf die Korrosion des Spannstahls auswirken, haben Rehm et al. [22] untersucht.

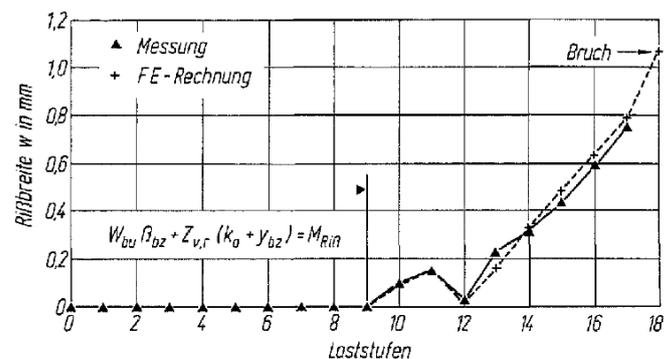
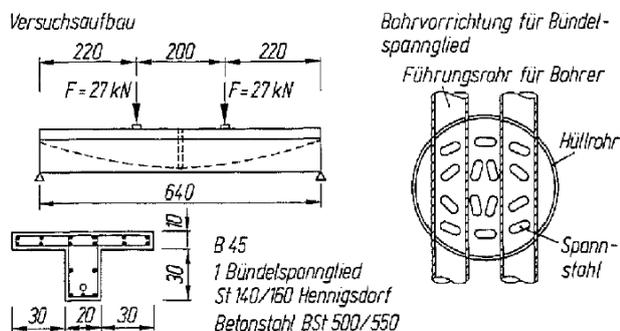


Abbildung 10

Versuchsaufbau und -ergebnisse zur Untersuchung des Ankündungsverhaltens [12]

4. Innovationen im Spannbetonbau – Neue Entwicklungen und derzeitige Forschung

4.1 Externe Vorspannung

Die erste Spannbetonbrücke, die in Deutschland erbaut wurde, war die extern vorgespannte Bahnhofsbrücke in Aue/Sachsen. Die Idee der verbundlosen Vorspannung wurde jedoch erst Jahrzehnte später wieder aufgegriffen, u. a. bei der Neuerrichtung des Überbaus jener Bahnhofsbrücke im Jahre 1995. Sie bildet demnach eine Verbindung zwischen den Anfängen dieser Bauweise und der modernen Ausführung der externen Vorspannung [28]. Der Grund, weswegen man in den Anfängen des Spannbetonbaus die Vorspannung mit nachträglichem Verbund bevorzugte, liegt darin, dass die im Verbund liegenden Spannglieder höhere Dehnungen und damit höhere Stahlspannungen aufweisen und durch die höhere Ausnutzung des Spannstahls wirtschaftliche Vorteile erzielt werden [23].

Die externe Vorspannung hat dennoch diverse Vorteile, die dieses Spannverfahren attraktiv für die Anwendung machen. Im Besonderen sei hier die dauerhafte Sicherstellung des Korrosionsschutzes des Spannstahls erwähnt. Gerade im Hinblick auf die festgestellten Korrosionsschäden bei im Verbund liegenden Spanngliedern durch mangelhaftes Verpressen der Spannkä-näle, lassen die externe Vorspannung hier vorteilhaft erscheinen. Die Dauerhaftigkeit der Spannbewehrung wird dabei durch einen zwei- bis dreifachen Korrosionsschutz sichergestellt, der aus dem HDPE-Hüllrohr, dem Verpressmaterial und der Litze besteht [23]. In Abbildung 11 ist der Aufbau einer Monolitze dargestellt. Weitere Vorteile der externen Vorspannung sind die Möglichkeit des Nachspannens und die Kontrollierbarkeit, was bei im Verbund liegenden Spanngliedern praktisch nicht möglich ist.



Abbildung 11
Isometrie einer Monolitze [29]

Jedoch hat die externe Vorspannung auch Nachteile. Die externen Spannglieder sind nur an den Anker- und Umlenkstellen mit dem Tragwerk verbunden, so dass ein lokaler Bruch eines Spannglieds zum Verlust der Vorspannung auf seiner ganzen Länge führt. Durch den fehlenden Verbund ist es nicht möglich die Spannkraften wieder lokal in das Bauwerk einzuleiten.

Auch die Entwicklung der externen Vorspannung war von Rückschlägen begleitet. Beispielfhaft seien hier Schäden genannt, wie sie an den Umlenkstellen der Spannglieder der Holzmatthalbrücke entstanden. An den auf die Stützquerträger aufgelegten Betonfertigteilen kam es infolge Rissbildung zu Schädigungen bis hin zur völligen Zerstörung der Stege zwischen den Spanngliedern. Zudem wurden Längsrisse und Zersplitterungen in den PE-Umlenkhalbschalen festgestellt. Ursächlich für dieses Schadensbild waren Pressungen aus den Einzeldrähten und horizontale Umlenkkräfte der Spannglieder.

In Deutschland war die Entwicklung der externen Vorspannung maßgeblich von Prof. Josef Eibl, Dipl.-Ing. Hermann Thal und Dipl.-Ing. Walter Voß geprägt [5],[6]. Mit mehreren Versuchsbrücken wie den Talbrücken Berbke (1987-1991), Wintrop (1988-1991) und Rümmecke (1996-1998) haben sie der Bauweise zum Durchbruch verholfen. Heute findet die externe Vorspannung auch bei der Verstärkung bestehender Konstruktionen ihre Anwendung.

4.2 Interne verbundlose Vorspannung

Das System der externen Vorspannung weist hinsichtlich der Spanngliederführung den Nachteil auf, dass lediglich polygonartige Verläufe der Spannglieder möglich sind. Dies liegt in der sehr aufwendigen Konstruktion der Umlenkstellen, die man deshalb in ihrer Anzahl möglichst gering halten möchte. Der Einbau der Spannglieder ist bei Hohlkastenquerschnitten nur von Hand möglich, da er nach der Herstellung des Überbaus erfolgt.

Aus diesen Gründen heraus war man bestrebt, die Vorteile einer externen mit denen einer im Verbund liegenden Vorspannung zu kombinieren und entwickelte die interne verbundlose Vorspannung.

Dieses Vorspannsystem ermöglicht es auch stark gekrümmte Spanngliederverläufe in kurzer Bauzeit zu erstellen. Durch die verwendeten Spannglieder besteht bereits während der Bauphase ein sehr guter Korrosionsschutz. Im Vergleich zu im Verbund liegender Spannglieder hat das System den Vorteil, dass sie bei dynamischen Lasten weniger zu Ermüdungsbrüchen neigen [27].

Nachteilig bei der internen verbundlosen Vorspannung ist allerdings, dass durch die Verlegung der Spannglieder innerhalb des Betonquerschnitts eine Überprüfbarkeit wie bei der externen Vorspannung nicht gegeben ist.

4.3 Mischbauweise

Seit Ende der 1990er Jahre besteht in Deutschland durch das Bundesministerium für Verkehr (ARS 28/1998) [3] die Forderung, Spannbetonbrücken mit Hohlkastenquerschnitt mittels



Abbildung 12
Neue Nibelungenbrücke über den Rhein bei Worms [10]



Abbildung 13
Odawara Blueway Bridge, Japan [8]

externer Vorspannung zu errichten, damit eine Überprüfbarkeit der Spannglieder gewährleistet ist. Da bei der abschnittswisen Herstellung, wie z. B. beim Freivorbau oder dem Taktschiebeverfahren, diese Art der Vorspannung nur sehr schwierig oder unwirtschaftlich zu realisieren ist, ist hierfür das Konzept der Mischbauweise vorgesehen. Hierbei werden die externe und die interne Vorspannung kombiniert. Bei Hohlkastenbrücken werden i.d.R. externe Spannglieder mit Umlenkungen im inneren des Kastenquerschnitts und gerade Spannglieder mit nachträglichem Verbund in der Fahrbahn- und Bodenplatte vorgesehen. Verwendet man statt im Verbund liegender Spannglieder interne verbundlose, so spricht man von der sogenannten „neuen Mischbauweise“. Ein Beispiel für eine in Mischbauweise ausgeführte Brücke ist die Neue Nibelungenbrücke über den Rhein bei Worms. Ein Foto der im Jahre 2008 fertiggestellten Neuen Nibelungenbrücke neben der 1953 erbauten Brücke ist in Abbildung 12 zu sehen.

4.4 „Extradosed“-Brücken

Ein Spezialgebiet für den Einsatz von externer Vorspannung stellen die „Extradosed“-Brücken als eine Mischung zwischen Balken- und Schrägkabelbrücken dar.

Aufgrund der niedrigeren Pylone ist die Neigung der Spannkabel wesentlich geringer als bei Schrägkabelbrücken. Der Lastabtrag erfolgt hier nicht nur über die Spannseile, sondern auch über den steifen Überbau, der in Spannbeton- oder Stahlbauweise erstellt wird. Dadurch ist die Ermüdungsbeanspruchung der Seile geringer als bei Schrägseilbrücken, weswegen höhere Spannstahlspannungen zugelassen werden können [8].

4.5 Verpressversuche von Kunststoff-Hüllrohren

Die DYWIDAG-Systems International GmbH hat jüngst, zusammen mit dem Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Universität der Bundeswehr München, Verpressversuche an Spanngliedern durchgeführt, die mit sogenannten GDP-Hüllrohren ausgestattet waren. Diese Hüllrohre bestehen aus Kunststoff und sollen neben der Verminderung der Reibungsverluste auch für erhöhten Korrosionsschutz der Spannglieder sorgen. Abbildung 14 zeigt den Querschnitt des durchtrennten Spannglieds nach dem Verpressversuch.

Abbildung 14
Querschnitt eines
Spannglieds mit
GDP-Hüllrohr nach
Verpressversuch



5. Fazit und Ausblick

Die Spannbetonbauweise hat eine bemerkenswerte und erfolgreiche Geschichte vorzuweisen. Im Besonderen hat sie sich im Brückenbau bewährt, was die Vielzahl an Bauwerken zeigt. Es kam im Laufe der Zeit aber auch immer wieder zu Schäden und technischen Schwierigkeiten. Diese gaben Anlass zu Forschungsvorhaben, deren Ergebnisse in neuen Bauweisen sowie in Normen und Vorschriften für den Spannbetonbrückenbau einfließen. Die Schadensursachen wurden erkannt und durch geänderte Berechnungs- und Konstruktionsweisen, aber auch durch vertieftes Wissen hinsichtlich des Werkstoffverhaltens der eingesetzten Materialien, wird bei Neubauten verhindert, dass sie wieder auftreten.

Auch wenn die geleistete Forschungsarbeit zu umfangreichem Erkenntnisgewinn beigetragen hat, so gibt es heutzutage

immer noch Problemstellungen, die nach einer grundlegenden Lösung verlangen. Des Weiteren sind neue Herausforderungen hinzugekommen, ausgelöst durch die Alterung des Brückenbestandes in Deutschland. Zur Aufrechterhaltung und Sicherstellung eines leistungsfähigen Infrastrukturnetzes ist es wichtig die Tragfähigkeit und Zuverlässigkeit der bestehenden Brücken im Hinblick auf das gestiegene Verkehrsaufkommen zu bewerten. Hier wurden mit der Nachrechnungsrichtlinie [4] wesentliche Erkenntnisse zusammengefasst, es besteht jedoch weiterhin Entwicklungsbedarf.

Nachhaltigkeit und ressourcenschonendes Bauen erlangt immer mehr an Bedeutung. Auf diesen Gebieten wird es deshalb auch in Zukunft weiteren Forschungsbedarf geben.

Literaturverzeichnis

- [1] Bagayoko, L.; Tue, N. et al.: *Bauwerke mit spannungsrisssgefährdeten Spannstählen – Nachrechnungskonzept*. DB Netz AG Konstruktiver Ingenieurbau (I.NVT 42). München, 2013. (unveröffentlicht)
- [2] Bertram, D. et al.: *Gefährdung älterer Spannbetonbauwerke durch Spannungsrissskorrosion an vergütetem Spannstahl in nachträglichen Verbund*. In *Beton- und Stahlbetonbau* 97 (2002), Heft 5, S. 236-238.
- [3] Bundesministerium für Verkehr: *ARS 28/1998 Spannbetonbrücken – Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spannmitgliedern*. Dortmund: Verkehrsblattverlag, 1998.
- [4] Bundesministerium für Verkehr: *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)*. 2011.
- [5] Eibl, J.: *Brücken mit externer Vorspannung. Vorträge auf dem Deutschen Kongress 1989*. Wiesbaden: Deutscher Betonverein, 1989.
- [6] Eibl, J., Voß, W.: *Zwei Autobahnbrücken mit externer Vorspannung*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 84 (1989), Heft 11, S. 291-296.
- [7] Engelke, P.: *Zum Stand der Einpresstechnik im Spannbetonbau*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 81 (1986), Heft 6, S. 147-150.
- [8] Gronych, L.: *Untersuchung einer Extradosed Bridge hinsichtlich der Bauzustände unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden*. Stuttgart, Masterarbeit, 2013 (unveröffentlicht).
- [9] Gutsch, A.-W.: *Injizieren von Spanngliedern mit nachträglichem Verbund mit Einpressmörtel*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 85 (2008), Heft 5, S. 322-331.
- [10] Keuser, M., Verheyen, H., Winkler, B.: *Der Entwurf der Neuen Nibelungenbrücke über den Rhein bei Worms*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 104 (2009), Heft 3, S. 175-181.
- [11] König, G. et al.: *Untersuchung des Ankündungsverhaltens der Spannbetontragwerke*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 89 (1994), Heft 2, S. 45-49.
- [12] König, G. et al.: *Untersuchung des Ankündungsverhaltens der Spannbetontragwerke (Fortsetzung aus Heft 2/1994 und Schluss)*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 89 (1994), Heft 3, S. 76-79.
- [13] König, G., Gerhardt, H.-G.: *Beurteilung der Betriebsfestigkeit von Spannbetonbrücken im Koppelfugenbereich unter besonderer Berücksichtigung einer möglichen Rissbildung*. Berlin: Ernst & Sohn, 1986. (DAfStb Heft 370)
- [14] König, G., Maurer, R.: *Sicherheit von Spannbetonbrücken*. *Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik*. Heft 590, 1990.
- [15] König, G., Maurer, R., Zichner, T.: *Spannbeton: Bewährung im Brückenbau*. Berlin: Springer, 1986.
- [16] Kordina, K.: *Schäden an Koppelfugen*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 74 (1979), Heft 4, S. 95-100
- [17] Leonhardt, F.: *Vorlesungen über Massivbau – Teil 5: Spannbeton*. Berlin: Springer, 2004
- [18] Leonhardt, F.: *Rißschäden an Betonbrücken – Ursachen und Abhilfe*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 74 (1979), Heft 2, S. 36-44.
- [19] Lingemann, J.: *Zum Ankündungsverhalten von älteren Brückenbauwerken bei Spannstahlausfällen infolge von Spannungsrissskorrosion*. München, Diss., 2011.
- [20] Mehlhorn, G.: *Nichtlineare Spannungsverteilung in Koppelfugen aus Eintragung der Vorspannung – Berechnung, Tabellen, Beispiele*. *Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik*. Heft 379, 1983
- [21] Penka, E.: *Beurteilung der Ermüdungssicherheit von Koppelfugenquerschnitten bestehender Spannbetonbrücken durch Langzeitmessungen*. München, Diss., 2004.
- [22] Rehm, G. et al.: *Auswirkung von Fehlstellen im Einpressmörtel auf die Korrosion des Spannstahls*. Berlin: Ernst & Sohn, 1984. (DAfStb Heft 353).
- [23] Rombach, G.: *Spannbetonbau*. Berlin: Ernst & Sohn, 2010.
- [24] Rostásky, F., Gutsch, A.-W.: *Zuverlässigkeit des Verpressens von Spannkäulen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten auf der Baustelle*. Berlin: Beuth, 1997. (DAfStb Heft 476)
- [25] Specht, M., Fouad, N.: *Temperatureinwirkungen auf Beton-Kastenträgerbrücken durch Klimaeinflüsse*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 93 (1998), Heft 10, S. 281-285.
- [26] Specht, M., Fouad, N.: *Temperatureinwirkungen auf Beton-Kastenträgerbrücken durch Klimaeinflüsse (Fortsetzung aus Heft 10/1998 und Schluss)*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 93 (1998), Heft 11, S. 319-323.
- [27] Traute, M., Weiher, H.: *Improved Sustainability in Post-tensioning by Replaceable Internal Unbonded Tendons*. In: *fib Symposium PRAGUE 2011. Session 3-4: Modelling and Design*. Prag, 2011.
- [28] Utsch, J., Jahn, T.: *Die Entwicklung der externen Vorspannung. Die Bahnhofsbrücke in Aue/Sachsen*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 94 (1999), Heft 8, S. 328-338.
- [29] Weiher, H.: *Verhalten von PE-HD Schutzhüllen bei der Umlenkung von verbundlosen Spanngliedern*. München, Diss., 2007.
- [30] Wölfel, E.: *Einzelne Spannbetonbauteile möglicherweise durch verzögerte Spannstahlbrüche gefährdet*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 87 (1992), Heft 6, S. 155-156.
- [31] Wurzer, O.: *Zur Instandsetzung aufgeschwommener Spannglieder an der Illerbrücke Thanners*. In: *Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ingbert Mangerig*. Neubiberg, 2010 (Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau Nr. 10/6)
- [32] Zilch, K., Weiher, H.: *120 Jahre Spannbetonbau – von Doebering und Jackson bis heute*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 103 (2008), Heft 6, S. 422-430.

Eine nachhaltige Methode zur Vermeidung von Glatteis auf Brücken



Prof. Dr.-Ing. Ingbert Mangerig

Ingbert Mangerig studierte an der RWTH Aachen Bauingenieurwesen. Nach der Diplomierung übernahm er in einem Ingenieurbüro Aufgaben in der Tragwerksplanung bevor er zur Ruhr-Universität nach Bochum wechselte um sowohl in der theoretischen als auch experimentellen Forschung zu arbeiten. Mit einer Arbeit zur seinerzeit aktuellen Fragestellung der Temperaturbeanspruchung von Brücken wurde er zum Dr.-Ing. promoviert. Sein Berufsweg führte ihn wieder in die Praxis, bevor er nach Tätigkeiten in Ingenieurbüros und Industrieunternehmen im Jahre 1996 zum Professor für Stahlbau an die Universität der Bundeswehr München berufen wurde. Dort widmet er sich parallel zu seinen Aufgaben in der Lehre weiterhin dem Forschungsthema Temperatur und bearbeitet in der experimentellen Forschung ein weites Feld von der Werkstoffermüdung über den Verbundbau und das Erdbebeningenieurwesen bis hin zum Bauwerksmonitoring. Er ist Mitglied in Normungsgremien sowie Sachverständigenbeiräten und engagiert sich in nationalen wie internationalen Fachausschüssen.

E-Mail: ingbert.mangerig@unibw.de

1. Einleitung

Winterliche Wetterbedingungen mit Eis und Schnee verursachen häufig Straßenverhältnisse, die zu Verkehrseinschränkungen führen und vielfach die Ursache für schwere Unfälle sind. Um das Straßennetz im Winter befahrbar zu halten, sind Jahr für Jahr erhebliche Anstrengungen mit beträchtlichen Kosten erforderlich. Das im Winterdienst eingesetzte Streusalz belastet dabei die Umwelt und richtet an Bauwerken beachtliche Schäden an. Nachhaltige, die Umwelt und die Bausubstanz schonende Lösungen sind erforderlich, um zukünftig auch bei winterlichen Wetterbedingungen einen reibungslosen Verkehrsfluss zu gewährleisten.

Zu Beginn der Wintermonate geht insbesondere von Brücken eine häufig unterschätzte Gefahr aus. Da deren Fahrbahnoberflächen aufgrund der im Vergleich zu freien Streckenabschnitten geringen wärmespeichernden Masse deutlich früher auskühlen, können Situationen entstehen, in denen die freien Strecken Oberflächentemperaturen oberhalb des Gefrierpunkts mit guten Straßenverhältnissen aufweisen, während sich auf Brücken Glatteis

bildet. Um dieser Gefahr zu begegnen, muss – auch wenn es die übrigen Straßenverhältnisse nicht erfordern – vorbeugend zumindest auf Brücken gestreut werden. Dieser vermehrte Einsatz von Streusalz belastet die Umwelt und schädigt die Bausubstanz. Wiederholt stellt sich im Nachhinein betrachtet die Arbeit des Winterdienstes als nicht erforderlich heraus, war aber unter dem Gebot der Verkehrssicherheit vorbeugend erforderlich. Fahrbahnheizungen können eine wirkungsvolle Alternative zum Streusalzeinsatz darstellen. Hierbei wird durch gezielte Zufuhr von Wärmeenergie über im Fahrbahnbelag integrierte Wärmetauscher die Oberflächentemperatur der Fahrbahn auf Brücken an die der freien Strecke angepasst. Es existieren bereits ausgeführte Projekte, vornehmlich Massivbrücken, die sich im Wesentlichen in den Anlagen zur Erzeugung der benötigten Energie unterscheiden.

Die für Massivbrücken geltenden Voraussetzungen lassen sich auf Stahlbrücken nur bedingt übertragen. Aufgrund des bei Stahlbrücken üblichen Gussasphaltbelags mit entsprechend hohen Einbautemperaturen sind besondere Materialien für die im Fahrbahnaufbau integrierten Wärmetauscherrohre erforderlich.

Des Weiteren verlangt die wegen der geringen wärmespeichernden Masse orthotroper Fahrbahnplatten signifikant erhöhte Glättegefahr einen im Gegensatz zu Lösungen bei Massivbrücken höheren Energiebedarf, der außerdem bei schnell einsetzenden Wetteränderungen kurzfristig verfügbar sein muss.

Grundsätzlich können mit Fahrbahntemperierungen zwei unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Wenn die Fahrbahnoberflächen zuverlässig schnee- und eisfrei zu halten sind, ist ein höherer Energiebedarf erforderlich als wenn die Brückenoberfläche nur bei kritischen Konstellationen auf das Temperaturniveau der angrenzenden Straßenoberfläche angehoben werden soll. Im zweiten Fall, mit einem geringeren Wärmeeintrag, werden die Situationen verhindert, in denen Glättebildung auf Brücken gefährliche Straßenverhältnisse hervorruft. Für Brückentragwerke ist die Angleichung der Fahrbahntemperatur an die übrigen Streckenabschnitte als die effizientere Variante zu betrachten, da Glättegefahr durch Schnee oder Eis im gesamten Straßennetz immer einen großflächigen Winterdienst erfordert und damit in diesem Fall auch die Brücken durch den Streudienst bedient werden. Überlegenswert ist allerdings, gefährdete Steigungsstrecken auch außerhalb von Brücken mit Fahrbahnheizungen auszustatten, die dann durch einen höheren Energieeinsatz auch bei mäßigem Schneefall und geringem Eisbesatz zuverlässig gefährliche Straßenverhältnisse verhindern könnten.

In nachfolgenden Abschnitten werden die zuvor beschriebenen Situationen auf Brücken, bei denen die Fahrbahntemperaturen angeglichen werden sollen, betrachtet. In [1] und [2] konnte nachgewiesen werden, dass für diesen Fall bereits geothermische Energiequellen ausreichen, um mit einer Fahrbahntemperierung die jährlich zu Beginn der Wintermonate wiederkehrenden gefährlichen Glättebildungen auf Brücken zu verhindern, so dass bei diesen Situationen auf den Winterdienst verzichtet werden kann.

Eine Anlage zur Temperierung von Fahrbahnflächen wurde bisher in einer Brücke in Schleswig-Holstein eingebaut [3]. In Bayern wurde die Methode in abgewandelter Form beim Bau

der Teststrecke eines LKW-Herstellers und im neu gestalteten Zugang zum U-Bahn-Bahnhof Therese-Giese-Allee realisiert. In der Schweiz [4] und den Niederlanden [5] sind Brücken mit einer Fahrbahntemperierung ausgerüstet. In Skandinavien [6, 7] verwendet man modifizierte Anlagen zum Schutz von Haltestellen öffentlicher Verkehrsmittel vor winterlichen Gefahren. Der Einbau in Start- und Landebahnen von Flughäfen ist im Gespräch, eine Realisierung steht aber noch aus.

2. Wärmewirkungen an Fahrbahnoberflächen

Brücken sind physikalisch betrachtet wie feste, den klimatischen Einwirkungen ausgesetzte Körper zu betrachten, die über die Begrenzungsflächen mit der Sonne, der Atmosphäre und der terrestrischen Umgebung in thermischem Kontakt stehen. Je nach Klimasituation wird tagsüber Wärmeenergie aufgenommen und nachts wieder abgegeben. Von der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität bestimmt, wird zugeführte Wärme im Bauwerk verteilt oder im umgekehrten Fall bei Wärmeabgabe aus dem Bauwerksinnern zu den Begrenzungsflächen transportiert. In der Folge stellen sich im Bauwerk instationäre, nicht linear begrenzte Temperaturverteilungen ein.

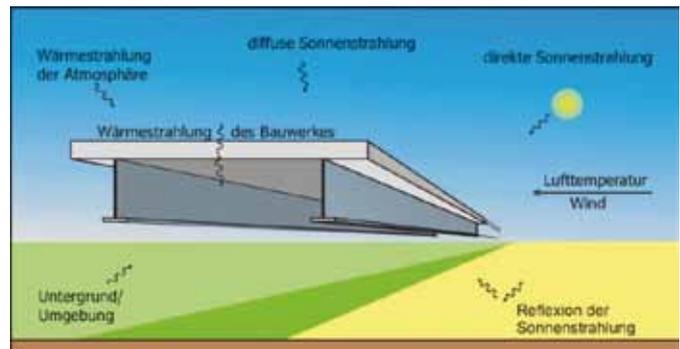
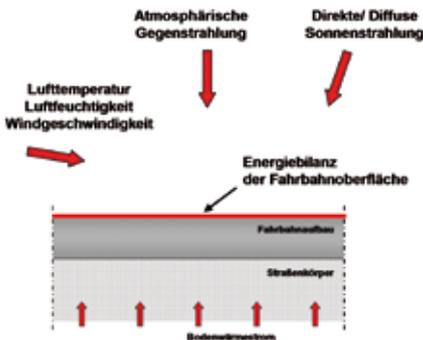


Abbildung 1
Klimatische Einwirkungen [8]

Straße



Brücke

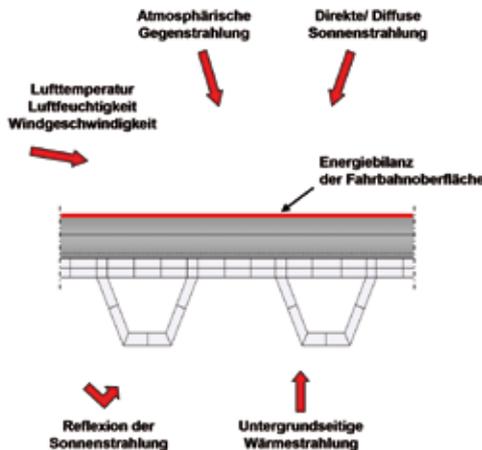


Abbildung 2
Wärmeübertragung an
Fahrbahnoberflächen [2]

Die für die Bildung von Fahrbahnglatte auf Brücken ausschlaggebende Oberflächentemperatur ergibt sich somit aus dem Zusammenwirken klimatischer Einwirkungen und thermischer Reaktionen im Belag und der angrenzenden Fahrbahnplatte. Bei Wertung der Zusammenhänge lässt sich folgern, dass je nach Fahrbahnaufbau und klimatischen Randbedingungen ein charakteristisches Temperaturverhalten abzuleiten ist, das Auskunft über die Gefahr der Glatteisbildung gibt. Entscheidend hierbei ist das Wärmespeichervermögen des Fahrbahnaufbaus. Außerhalb von Brücken werden im Fahrbahnaufbau und den darunterliegenden Bodenschichten insbesondere während der Sommer- und Herbstmonate erhebliche Wärmemengen gespeichert, die mit Beginn der Winterperiode verzögert abgegeben werden. Es stellt sich ein langwelliger, von der Jahreszeit bestimmter Temperaturzyklus ein. Im Gegensatz dazu macht sich aufgenommene Wärmeenergie in den Fahrbahn decks von Brücken aufgrund der vergleichsweise geringen Massen schneller in einer Temperaturerhöhung, bei Wärmeentzug mit kälteren Umgebungsbedingungen aber auch durch eine rasche Auskühlung bemerkbar. Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt in Stahlfahrbahnen, die aufgrund der vergleichsweise geringen Masse dem Tagesrhythmus der Klimavorgaben folgen.

Die Energie, die tagsüber aufgenommen wurde, wird in der Nacht vollständig wieder abgegeben. Die eingetragene Wärmemenge macht sich in einer Temperaturerhöhung mit einer bei sommerlicher Witterung signifikant hohen Gefahr der Spurrinnenbildung bemerkbar. Mit Beginn der Winterzeit reagieren die Fahrbahnoberflächen von Stahlfahrbahnen bei Wärmeentzug mit einer deutlichen Abkühlung. Aufgrund der Wärmeabgabe über Konvektion und Strahlung sind des Nachts Temperaturen geringer als die Lufttemperatur möglich. Betonfahrbahnplatten reagieren aufgrund eines trägeren Wärmetransports verzögert auf die Veränderungen der klimatischen Einwirkungen. Während im Temperaturverhalten von Stahlbrücken ein Tagesrhythmus festzustellen ist, verursacht die Trägheit in der Wärmeaufnahme und die Verzögerung in der Energieabgabe bei Betonfahrbahnplatten eine Schwingzeit von annähernd drei Tagen. Wärme wird langsamer abgegeben, bleibt damit länger im Bauwerk, so dass erst bei Wärmeperioden größer drei Tagen eine den Stahlbrücken vergleichbare Gefahr der Spurrinnenbildung besteht und bei Kälteperioden, die mehr als drei Tage andauern, sich auch bei Brücken mit Betonfahrbahnen Glatteis bilden kann.

Es ist damit festzustellen, dass bei gleichen klimatischen Randbedingungen die Fahrbahnplatten von Stahlbrücken rascher auskühlen als die von Beton- bzw. Verbundbrücken oder den Fahrbahnflächen außerhalb von Brücken. Dieser Befund ist insbesondere in Situationen von Bedeutung, in denen die Straßenoberflächen außerhalb von Brücken gerade noch Temperaturen oberhalb des Gefrierpunkts aufweisen, während die Temperaturen der Fahrbahnen auf Brücken schon unter den Nullpunkt abgesunken sind, so dass vorhandene Oberflächenfeuchte anfriert. Diese Bedingungen führen bei Verkehrsteilnehmern zu unerwarteten Glatteabschnitten mit entsprechend hoher Unfallgefahr.

Zur Vermeidung eines erhöhten Glätterisikos auf Brücken ist das Temperaturverhalten auf den Fahrbahnflächen von Brücken an das außerhalb der Bauwerke anzupassen. Nachfolgend sind Ergebnisse numerischer Analysen aus [2] dargestellt (Abbildung 3). Exemplarisch sind über einen Zeitraum von zwei Monaten die Oberflächentemperaturen einer Brückenfahrbahn und korrespondierend dazu in roter Farbe die jeweiligen Taupunkttemperaturen der Luft dargestellt. Im Detailausschnitt ist eine kritische Situation abgebildet, in der die Oberflächentemperatur der Brücke unter dem Taupunkt der Luft liegt und somit Kondenswasser entsteht, das bei einer Temperatur der Asphaltoberfläche unterhalb des Nullpunkts auf der Fahrbahn zu Eis gefriert. Im gleichen Zeitraum liegt die Temperatur der Fahrbahnoberfläche außerhalb der Brücke über dem Nullpunkt, so dass in diesem Straßenabschnitt keine Glattegefahr besteht.

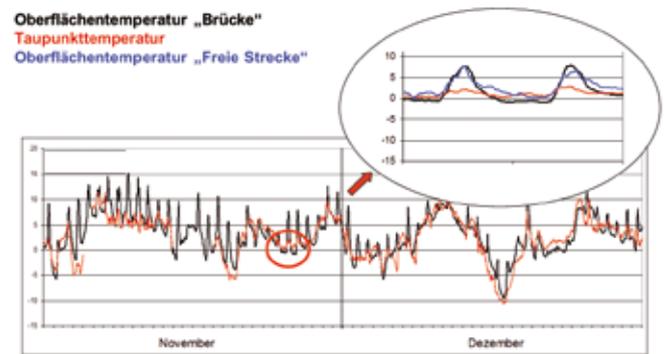


Abbildung 3
Ergebnisse numerischer Simulationen zur Temperaturentwicklung von Fahrbahnoberflächen [2]

Ein Vergleich der in Abbildung 3 ausgewählten Temperaturverläufe der Fahrbahnen von Brücken mit denen der freien Strecke führt erwartungsgemäß zu dem Ergebnis, dass die Oberflächentemperatur eines Brückenabschnitts während der Nachtstunden häufig deutlich unter denen eines Straßenabschnitts außerhalb der Bauwerke liegt. Die nachstehende Abbildung 4 aus [2] zeigt diesen Zusammenhang zwischen den beiden Oberflächentemperaturen in Abhängigkeit der Lufttemperatur auf. Negative Werte stehen für Situationen, in denen die Fahrbahntemperatur auf Brücken unterhalb der von Straßenabschnitten außerhalb der Bauwerke liegt. Die blaue Punktmenge in der rechten Darstellung repräsentiert Konstellationen, in denen die Brückenoberflächen Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts aufweisen. Es wird deutlich, dass unter dem Nullpunkt liegende Oberflächentemperaturen auf Brücken bereits bei Lufttemperaturen von +5 °C zu erwarten sind. Des Weiteren wird deutlich, dass sich tendenziell für abnehmende Lufttemperaturen eine größer werdende Temperaturdifferenz zwischen den Fahrbahnen von Brücken und den Bereichen außerhalb der Bauwerke einstellt. Die rosafarbene Teilmenge steht für Konstellationen,

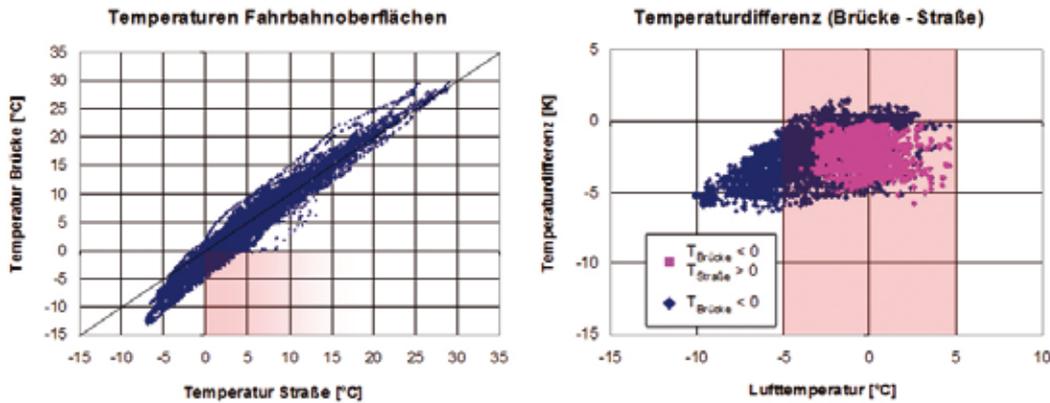


Abbildung 4
Korrelation der Fahrbrunnentemperaturen auf Brücken und Dämmen [2]

in denen die Oberflächentemperaturen der Brückenfahrbrunn negative Werte annehmen und gleichzeitig die Fahrbrunnentemperaturen der Straßenabschnitte außerhalb des Bauwerks über dem Gefrierpunkt liegen.

Aus den Ergebnissen der aufgezeigten numerischen Simulationen ist abzuleiten, dass zur Vermeidung einer Glättegefahr auf Brücken eine Temperierung der Fahrbrunnflächen im Lufttemperaturbereich zwischen -5 °C und $+5\text{ °C}$ ausreichend ist.

3. Entwurf eines Temperierungssystems für Brückenfahrbrunn

Zur Vermeidung einer erhöhten Glättegefahr auf Brückentragwerken ist die Oberflächentemperatur des Brückenbelags auf das Temperaturniveau des Straßenbelags außerhalb der Bauwerke anzuheben. Hierfür wird im Asphaltaufbau ein Rohrregister integriert, welches hinsichtlich der thermischen Leistungsfähigkeit und einer gleichmäßigen Oberflächentemperatur zu optimieren war. Oberflächennah verlegte Rohrregister zeigen prinzipiell einen höheren thermischen Wirkungsgrad, verursachen aber gleichzeitig Temperatursenken im Fahrbrunnbelag, wohingegen tiefer im Belag verlegte Rohre zwar einen geringeren Wirkungsgrad besitzen aber den Asphalt gleichmäßiger durchwärmen, jedoch auch längere Vorlaufzeiten benötigen.

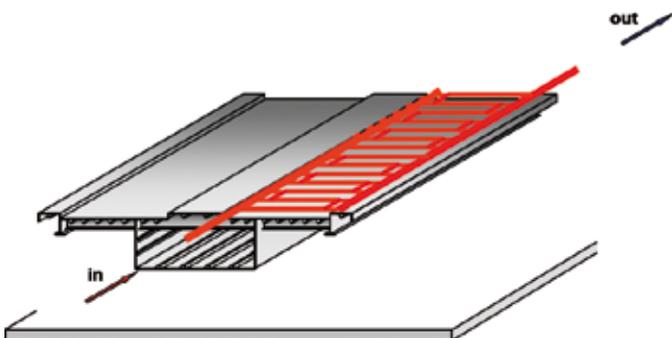


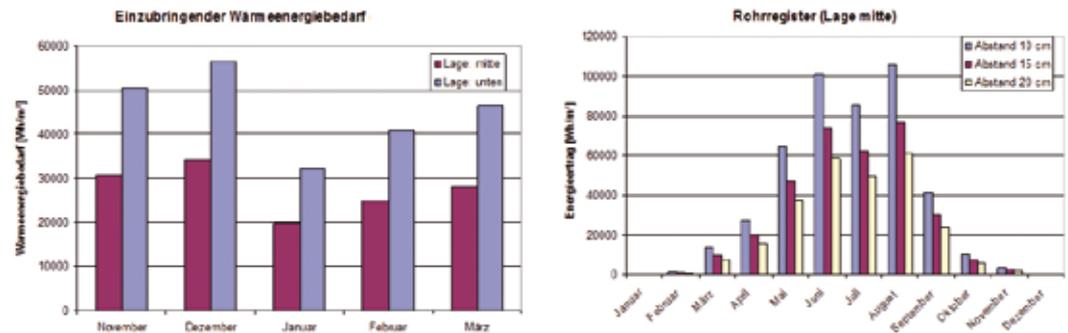
Abbildung 5
Konstruktiver Aufbau einer Fahrbrunnheizung

Die Grundidee des Systems war es, eine Anlage mit einem geringen Wärmebedarf zu betreiben, so dass die Nutzung geothermischer Energie möglich ist. Über Erdwärmesonden, die im Grenzfall in Tiefen bis zu 400 m gebohrt werden können, wird aus tiefer liegenden Bodenschichten Wärmeenergie gewonnen [9]. Das Temperaturniveau dieser Wärmespeicher liegt bei 10 bis 14 °C und zeigt keine jahreszeitlichen Schwankungen. Es ist allerdings zu erwarten, dass bei Entnahme von Wärmeenergie in der unmittelbaren Umgebung der Erdsonden das Temperaturniveau sinkt mit der Folge, dass der Energieertrag über die Nutzungsdauer abnimmt und im Grenzfall die geförderte Wärmemenge zur Temperierung des Brückenbelags nicht mehr ausreicht. Aus diesem Grund ist zusätzlich eine Sommernutzungsphase anzustreben, in der über die Rohrregister der Brückenfahrbrunn Wärme entzogen wird, die über die Erdwärmesonden wieder in den Boden eingebracht wird, um im Winter entnommene Wärmemengen auszugleichen.

In Abbildung 6 sind Ergebnisse von numerischen Simulationen aus [1] und [2] zur Bewertung der Sommernutzungsphase dargestellt, aus der das bei Kühlung des Brückenbelags verfügbare Potenzial an Wärmeenergie abzulesen ist. Die Oberflächen von Brücken erreichen unter sommerlichen Bedingungen Temperaturen von mehr als 60 °C. Der Belag nimmt in dieser Zeit die Funktion eines Asphaltkollektors an und würde, wenn eine Möglichkeit der Speicherung bestünde, genügend Energie liefern, um im Winter die Fahrbrunn der Brücke zu beheizen. Wenngleich die Rückführung der Wärmeenergie über Erdwärmesonden keine Speicherung von Wärmeenergie im üblichen Sinne darstellt, so kann doch aufgezeigt werden, dass in einem Kreislauf ein nahezu autarkes System zur Gewinnung von Wärmeenergie für die Temperierung von Brückenoberflächen erreicht werden kann mit dem Ziel, den Einsatz von Streusalz zur Vermeidung von Glättesituationen zu reduzieren. In neueren Forschungsarbeiten wird am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau daran gearbeitet, während des gesamten Jahres über die Kollektoreigenschaften des Brückenbelags Wärmeenergie zu gewinnen, diese in Latentwärmespeicher zu leiten und durch Ausnutzung der bei der Phasenumwandlung frei werdenden Wärme bei drohenden Glättesituationen die Brückenoberfläche aufzuheizen. Der einfache

Abbildung 6

Vergleich Wärmeenergiebedarf und Wärmeenergieertrag einer Fahrbahnheizung [2]



Ansatz, im Sommer geerntete Energie im Winter zur Verfügung zu haben, würde allerdings nur mit einem unverhältnismäßig großen Speichervolumen gelingen, so dass ein wirtschaftlicher Betrieb nicht möglich wäre. Da aber auch in den Wintermonaten die als Asphaltkollektor wirkende Brückenoberfläche bei Sonneneinstrahlung aktiv ist und kontinuierlich Überschussenergie anfällt, kann zusätzlich auch in dieser Zeit der Wärmespeicher aufgeladen werden. Bei Verfolgung dieses Ansatzes reduziert sich das erforderliche Volumen eines Latentwärmespeichers auf handhabbare Rauminhalte und eine Anlage mit Latentwärmespeicher zur Fahrbahntemperierung könnte wirtschaftlich betrieben werden.

4. Untersuchungen an einer Forschungsbrücke

Zur Verifikation der Ergebnisse numerischer Simulationen wurde auf dem Gelände der Universität der Bundeswehr München eine Versuchsbrücke mit einem modularen Rohrsystem im Asphaltbelag ausgerüstet. Das System der Fahrbahntemperierung besteht üblicherweise aus mäanderförmig in den Fahrbahnbelag eingelegten Kunststoffrohren. Vergleichbar einer Fußbodenheizung wird durch dieses Rohrsystem temperiertes Wasser gepumpt. Entgegen den im Wohnhausbau verwendeten Rohren wurden im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Straßenwesen geförderten Forschungsvorhabens [1] entwickelte Leitungen verwendet, die den hohen Temperaturen beim Asphaltieren standhalten und beim Austausch des Fahrbahnbelags die Wiederaufbereitung des Asphalts nicht nachteilig beeinflussen.

Die zum Aufwärmen des Wassers benötigte Wärmeenergie stammt aus oberflächennaher Geothermie, die vergleichbar den

Rohrregistern im Fahrbahnbelag über im Erdreich eingebettete Leitungen gewonnen wird. Die Rohre im Boden liegen in einer Tiefe von ca. 10 m unter der Erdoberfläche im Bereich annähernd gleichbleibender Bodentemperatur. Das mit Frostschutzmittel versehene Wasser in den oberflächennah verlegten Rohren nimmt die Temperatur der Bodenschichten von ca. 10 bis 12 °C an. In das Rohrregister der Brückenfahrbahn kann somit temperiertes Wasser mit ca. 10 °C eingespeist werden. Je nach Brückenfläche können mehrere parallel geschaltete Rohrregister mit aufgewärmtem Wasser versorgt werden. In der Versuchsanlage auf dem Gelände der Universität der Bundeswehr München war zum Test der Wirksamkeit und Funktionstüchtigkeit nur ein Rohrregister erforderlich. Beim Bau der Versuchsanlage wurde auch die Möglichkeiten des grabenlosen Verlegens von Rohren zur Nutzung erdnahe Geothermie untersucht.

5. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse mehrerer Forschungsarbeiten zur Temperierung der Fahrbahnflächen von Brücken belegen, dass Systeme mit Nutzung geothermischer Energie zur Aufheizung von Brückenflächen dem Betrieb von Taumittelsprühanlagen und dem konventionellen Winterdienst wirtschaftlich konkurrenzfähig sind. Zusätzlich positiv zu bewerten sind die ökologischen Vorteile einer Verminderung des Taumittelsinsatzes sowie die Option der sommerlichen Fahrbahnkühlung zur Vermeidung von Spurrinnenbildung. Systeme unter Nutzung von Geo- oder Solarthermie arbeiten, da verfügbare Wärmequellen zur nachhaltigen Energienutzung aktiviert werden, weitgehend autark mit einem lediglich geringen Bedarf an Fremdenergie zum Betrieb eines Pumpsystems zur Aufrechterhaltung der Zirkulation des Wärmetransportmediums.

Abbildung 7

Versuchsbrücke auf dem Gelände der Universität der Bundeswehr München mit einer Wärmebildaufnahme der Fahrbahnoberfläche zum Test der Auswirkung unterschiedlicher Abstände der Wärmetauscherrohre

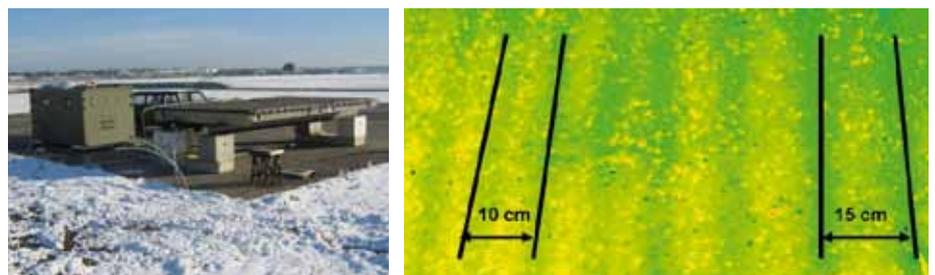




Abbildung 8
Oberflächennahe Geothermie zur Gewinnung der für die Fahrbahntemperierung der Versuchsbrücke benötigten Wärmeenergie

Der Einsatz an Steigungsstrecken von Straßen ist prinzipiell möglich, wenngleich der Energiebedarf aufgrund der größeren aufzuwärmenden Masse ungleich höher anzusetzen ist als bei Brücken. Vor einer Entscheidung über den Einsatz einer Fahrbahntemperierung ist zu prüfen, ob der erforderliche Wärmebedarf über Erdwärme entlang der Steigungsstrecken und gespeicherte Solarenergie aus den Fahrbahnflächen ausreichend verfügbar ist. In der ursprünglich für Brücken erdachten Form – ohne zusätzliche Wärmetauscher – sollte eine Verwendung an Steigungsstrecken nur eingeschränkt realisierbar sein. Insbesondere ist bei Anwendung der beschriebenen Methode für diesen Fall der Glättevermeidung eine vollständige Freihaltung von winterlichen Einflüssen anzustreben. Mit besonderer Sorgfalt ist die Situation zu bewerten, bei der während der hellen Tagesstunden das Abtauen größerer Schneemengen möglich war, bei sinkenden Temperaturen die zugeführte Wärmeenergie aber nicht zur Verhinderung der Eisbildung des noch nicht vollständig verdunsteten Schmelzwassers ausreichte. Es könnten sich gefährliche Glättesituationen mit Eisbildung einstellen, deren Auftreten nur mit einem verstärkten Streusalzeinsatz zu verhindern wäre.

Als Varianten zur Nutzung geothermischer Energie für die Temperierung von Fahrbahnoberflächen bieten sich neben Tiefbohrungen oder Energiepfählen im Boden eingebettete oberflächennahe Rohrregister an. Eine Nutzung des Energiepotentials von Grundwasser ist ebenso möglich wie die Verwendung des Wärmeangebots aus Flüssen oder Seen. Durch Zwischenschaltung eines Wärmetauschers kann in allen Fällen die Temperatur

der in der Brückenfahrbahn zirkulierenden Flüssigkeit erhöht werden, wenngleich dieser zusätzliche Aufwand zur Wirksamkeit einer Anlage nicht zwingend erforderlich ist. Die Ergebnisse aus dem Langzeitbetrieb einer Versuchsanlage auf dem Gelände der Universität der Bundeswehr München belegen, dass bereits das Energieangebot der oberflächennahen Bodenschichten ausreicht, um Fahrbahnoberflächen bei kritischen Straßenverhältnissen wirkungsvoll eisfrei zu halten. Aktuell wird untersucht, wie die auf Brückenflächen während der hellen Tagesstunden anfallende Wärmeenergie direkt zwischengespeichert werden kann, um unmittelbar zur Temperierung von Fahrbahnen genutzt zu werden. Um die über Solarthermie an der Fahrbahnoberfläche anfallende Energie auch unabhängig von der Sonneneinstrahlung verwenden zu können, soll die Wärme in Latentwärmespeicher geleitet werden und durch gezielte Ausnutzung der Schmelzwärme von Phase Change Materials bedarfsgerecht verfügbar gemacht werden.

Die Arbeiten zur Temperierung von Fahrbahnoberflächen verfolgen das Ziel, durch nachhaltige, die Umwelt und die Bausubstanz schonende Lösungen auch unter winterlichen Bedingungen einen sichern Verkehrsfluss zu gewährleisten, um damit den Einsatz von Streusalz zu reduzieren. Ressourcenschonende Systeme für den Einbau in Fahrbahnbelägen von Brücken sind ausreichend getestet und werden bereits eingesetzt. Für die Verwendung zur Reduzierung winterlicher Glättegefahren an Steigungsstrecken besteht noch zusätzlicher Forschungsbedarf.

Literaturverzeichnis

- [1] Feldmann M., Steinhauer B., Mangerig I. et al.: Vermeidung von Glätteisbildung auf Brücken, Forschungsbericht Bundesanstalt für Straßenwesen FE-Nr. 15.0401/2004/ARB, 2009
- [2] Beucher St.: Zur aktiven Temperierung von Brückenfahrbahnen, Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, Universität der Bundeswehr München, 2010
- [3] Hanschke T., Kühl J.U., Freund R., Mackert K.U.: Die Geothermische Brücke Berkentin, Bautechnik Jg. 86 Nr. 11, 2009
- [4] Eugster W., Schatzmann J.: Harnessing Solar Energy for Winter Road Cleaning on Heavily Loaded Expressways, Proceedings XIth PIARC International Winter Road Congress, Sapporo, Japan 2002
- [5] De Bond A.H., van Bijsterveld W.T.: Structural Aspects of Asphalt Pavement Heating and Cooling Systems. Third International Symposium on 3D Finite Element Modelling, Design and Research, Amsterdam 2002
- [6] Brown B.: Klamath Falls Downtown Redevelopment Geothermal Sidewalk Snowmelt, Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, Vol. 16, No. 4, USA, 1995
- [7] Morita K., Tago M.: Snow-Melting on Sidewalks with Ground-Coupled Heat Pumps in a Heavy Snowfall City. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 2005
- [8] Lichte U.: Klimatische Temperatureinwirkungen und Kombinationsregeln bei Brückenbauwerken, Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, Universität der Bundeswehr München, 2004
- [9] Waberseck T.: Temperierung von Verkehrsflächen mittels oberflächennaher Geothermie, 29. Baugrundtagung Bremen, 2006

Sichere Trinkwasserversorgung in Bayern



PD Dr.-Ing. habil. Steffen Krause

Dr.-Ing. habil. Steffen Krause ist seit dem Jahr 2012 Privatdozent für das Lehrgebiet Wasserversorgung an der Universität der Bundeswehr München. Nach dem Studium der Verfahrenscheme an der Technischen Hochschule Leuna-Merseburg leitet er 1991 das chemisch-physikalische Labor am Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München. 2001 promovierte er bei Prof. F.W. Günthert über das Vorkommen und die Eigenschaften von Huminstoffen im Sickerwasser von Klärschlammdeponien. Sein aktueller Forschungsschwerpunkt ist der Einsatz von Ultrafiltration, Nanofiltration und Umkehrosmose zur Trinkwasseraufbereitung. Steffen Krause ist Mitglied der Wasserchemischen Gesellschaft. Innerhalb des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs ist er im Projektkreis „Filtration“ sowie im Arbeitskreis „Professoren und Hochschullehrer für Wasserversorgung“ sowie als Dozent an der Wassermeisterschule Rosenheim tätig.

E-Mail: steffen.krause@unibw.de



Dipl.-Ing. Christian Platschek

Dipl.- Ing. Christian Platschek studierte von 2001 bis 2005 an der Universität der Bundeswehr in München Bauingenieurwesen. Im Anschluss an seine Dienstzeit als Offizier wechselte er 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an die Professur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik. Hier bearbeitet Herr Platschek vorrangig Projekte mit der Zielsetzung, kleinere Wasserversorger in Bayern mit einer Wasserabgabe bis ca. 100.000 m³/a und oftmals geringen Personalressourcen bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben zu unterstützen. Zu solchen Unternehmen gibt es derzeit, trotz ihrer verhältnismäßig großen Anzahl, noch kaum belastbare Aussagen über deren nachhaltige Arbeitsweise.

E-Mail: christian.platschek@unibw.de



Prof. Dr.-Ing. Frank Wolfgang Günthert

Professor Frank Wolfgang Günthert ist promovierter Bauingenieur und seit 1994 Leiter der Professur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik des Instituts für Wasserwesen an der Universität der Bundeswehr München. Er befasst sich in Lehre und Forschung mit Themen der Abwasserableitung, Abwasserreinigung, Wasserversorgung und Abfallbehandlung. Im Rahmen zahlreicher praxisorientierter Forschungsvorhaben hat er sich mit Verfahren des Rohrleitungsbaus, der Kanalsanierung und mit der Wirtschaftlichkeit von Wasserwirtschaftsunternehmen beschäftigt. Er hat dabei zahlreiche Diplomarbeiten, Dissertationen und Habilitationen betreut und ist Autor einer großen Zahl nationaler und internationaler Veröffentlichungen. Professor Günthert ist Vizepräsident der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (DWA) und Vorsitzender des DWA-Landesverband Bayern sowie Mitglied mehrerer Fachausschüsse und Arbeitsgruppen der DWA, des DIN und des DVGW.

E-Mail: wolfgang.guenthert@unibw.de

Zusammenfassung

Die Säulen einer sicheren Wasserversorgung sind der Zugang zu geschützten Wasserressourcen, geeignete technische Anlagen sowie qualifiziertes Personal. Wasserversorgungsanlagen sicher und nachhaltig zu betreiben, ist für kleinere Unternehmen mit geringer Personalausstattung besonders anspruchsvoll. Der vorliegende Beitrag stellt dar, wie die Professur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik diese Unternehmen mit ihren Forschungsaktivitäten in den Bereichen Aufbereitungstechnik, Rohrleitungsbau und Management unterstützt.

1. Einleitung

Eine sichere Wasserversorgung ist eine unverzichtbare Voraussetzung für den Wohlstand und die Entwicklung unserer Gesellschaft. Wasser ist und bleibt das wichtigste Lebensmittel, das durch nichts ersetzt werden kann. Von der Verfügbarkeit des Trinkwassers hängen auch die Bereitstellung von Löschwasser und die geordnete Abwasserentsorgung ab. Daher zählt die öffentliche Wasserversorgung zu den Einrichtungen, die als kritische Infrastruktur bezeichnet werden (BBK, 2005).

Aufgabe der öffentlichen Trinkwasserversorgung ist die kontinuierliche und zuverlässige Bereitstellung von Trinkwasser in erforderlicher Menge, mit ausreichendem Druck und in hygienisch und chemisch einwandfreier Beschaffenheit. Heute beziehen mehr als 99 Prozent der bayerischen Bevölkerung ihr Trinkwasser über die öffentliche Wasserversorgung. Die an die Endverbraucher abgegebene Wassermenge betrug im Jahr 2010 ca. 725 Millionen m³, was einem durchschnittlichen Verbrauch von 129 l je Einwohner und Tag entspricht (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, 2012).

Wasserversorgungsanlagen stellen ein erhebliches Anlagevermögen der Kommunen dar. Ihre Errichtung und ihr Erhalt sind mit einem hohen finanziellen und technischen Aufwand verbunden. Es ist daher von großer wirtschaftlicher Bedeutung, dass diese Anlagen so betrieben werden, dass sie möglichst lange genutzt werden können. Im Sinne der Nachhaltigkeit muss also vermieden werden, dass nachfolgenden Generationen abgenutzte und unbrauchbare Anlagen übergeben werden. Deutsche Versorgungsunternehmen investieren deshalb jährlich ca. 2 Mrd. Euro in den Unterhalt ihrer Anlagen (BDEW, 2011).

Eine sichere Wasserversorgung setzt neben dem Zugang zu Rohwasserressourcen auch geeignete und zuverlässige Gewinnungs-, Aufbereitungs- und Verteilungsanlagen voraus. Der Schutz der Ressourcen und ihre nachhaltige Bewirtschaftung sind weitere Aufgaben, die von den Wasserversorgungsunternehmen zu bewältigen sind. Der Schlüssel, um diese Ressourcen und Anlagen nutzen und erhalten zu können, ist der Einsatz von Personal mit der erforderlichen Qualifikation und in ausreichender Zahl, gekoppelt mit einem Betriebs- und Sicherheitsmanagement,

das für die jeweilige Anlagentechnik angemessen ist. Betrachtet man den süddeutschen Raum aus Sicht der Wasserversorgung, wird deutlich, dass er bezüglich der hydrogeologischen Verhältnisse, der Siedlungsstruktur und der daraus resultierenden sehr geringen Unternehmensgrößen eine Sonderstellung innerhalb der deutschen Wasserversorgung einnimmt. Es existiert eine Vielzahl kleiner und sehr kleiner Unternehmen, die nur bedingt und teilweise mit erheblichem Aufwand an Verbundsysteme angeschlossen werden können (Krause und Panglisch, 2011).

Auch unter diesen ungünstigen Bedingungen eine sichere Wasserversorgung zu betreiben, stellt für die betroffenen Unternehmen eine technische, organisatorische und wirtschaftliche Herausforderung dar. Dies umso mehr als der ländliche Raum von demographischen Veränderungen besonders stark betroffen sein wird.

Seit mehr als 15 Jahren leistet das Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München einen Beitrag dazu, insbesondere die kleinen Wasserversorgungsunternehmen in ihrer Arbeit zu unterstützen. Im Rahmen von Projekten, die vom Freistaat Bayern, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfachs (DVGW), bayerischen Gemeinden und anderen gefördert wurden, sind verschiedene Lösungen im technischen Bereich und im organisatorisch-wirtschaftlichen Bereich entwickelt worden. Das dabei erarbeitete Wissen fließt seit einiger Zeit nun auch in die Aktivitäten des Forschungszentrums RISK (Risiko, Infrastruktur, Sicherheit und Konflikt) unserer Universität ein. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Situation der Trinkwasserversorgung in Bayern. Er zeigt außerdem auf, vor welchen Herausforderungen die Kommunen und Unternehmen bei der Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung stehen und wie sich die Professur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik dieser Themen im Rahmen von Forschungsvorhaben annimmt.

2. Die Säulen einer sicheren und nachhaltigen Wasserversorgung

Zweifelsohne ist in den letzten Jahrzehnten in der öffentlichen Wasserversorgung ein sehr hohes Niveau bezüglich Wasserqualität und Versorgungssicherheit erreicht worden. Die durchschnittlichen Wasserverluste im Verteilnetz liegen bei 6,5 Prozent. Dagegen betragen die Netzverluste in Ländern wie England/Wales und Frankreich 16 und 21 Prozent (BDEW, 2011). Ein Ausfall der öffentlichen Wasserversorgung ist in Deutschland eine absolute Ausnahme. Die Qualität des Trinkwassers entspricht bei den größeren Unternehmen, also Unternehmen mit mehr als 5.000 versorgten Einwohnern oder einer Wasserabgabe von mehr als 1.000 m³/d, in mehr als 99 Prozent der Untersuchungen den gesetzlichen Anforderungen (UBA 2011).

Um das erreichte Niveau zu halten, sind auch weiterhin kontinuierliche Anstrengungen erforderlich. Dabei ist es nicht aus-

reichend, sich allein an der Qualität des aufbereiteten Wassers zu orientieren. Vielmehr muss dem gesamten Prozess von Ressourcenschutz, Gewinnung, Aufbereitung bis hin zur Speicherung und Verteilung Aufmerksamkeit gewidmet werden.

2.1 Ressourcenverfügbarkeit und Ressourcenbeschaffenheit

Das Leitbild der deutschen Trinkwasserversorgung ist nach der DIN 2000 die Beschaffenheit eines Grundwassers, welches aus genügender Tiefe und nach Passage durch ausreichend filtrierende Schichten gewonnen wurde. Das Wasser sollte dem natürlichen Wasserkreislauf entstammen und in keiner Weise beeinträchtigt sein. Ist die Nutzung solcher Wässer für die Trinkwasserversorgung möglich, so kann auf eine Aufbereitung in der Regel verzichtet werden. Bereits das Grundwasser erfüllt dann die Anforderungen der Trinkwasserverordnung. Derzeit werden in Bayern über 90 Prozent des Trinkwassers aus Grundwasser (Brunnen und Quellen) gewonnen und nur sieben Prozent stammen aus Uferfiltrat bzw. angereichertem Grundwasser. Weitere drei Prozent des Trinkwassers werden aus Oberflächenwasser, vorwiegend aus Talsperren, gewonnen (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, 2012).

Mehr als die Hälfte des in Bayern geförderten Grundwassers kann ohne Aufbereitung an die Verbraucher abgegeben werden. In einigen Gebieten Bayerns muss jedoch auf Grundwasser aus Kluft- und Karstgrundwasserleitern zurückgegriffen werden, die sich durch hohe Abstandsgeschwindigkeiten im Aquifer auszeichnen (Frisch, 1998). Da in diesen Gebieten oft auch nur eine geringe Überdeckung mit filtrierenden Bodenschichten vorhanden ist, sind die Grundwässer dort nicht oder nur bedingt schützenswert und müssen deshalb aufbereitet werden.

Häufig sind die aus Karst- und Kluftgrundwasserleitern gewonnenen Wässer durch den Eintrag von Trübstoffen und hygienischen Verunreinigungen belastet. Ihre Aufbereitung erfordert eine Verfahrensstufe zur Partikelentfernung und eine anschließende Desinfektion. Soll der Vorrang der ortsnahen Wasserversorgung nach § 50 WHG erhalten bleiben, müssen den betroffenen Kommunen also technische Verfahren an die Hand gegeben werden, die auch in kleinem Maßstab und mit wenig Personaleinsatz sicher betrieben werden können.

Seit dem Ende der 1990er Jahre hat sich die Professur in zahlreichen Projekten intensiv mit dem Einsatz der Ultrafiltration zur Aufbereitung trübstoffbelasteter Wässer beschäftigt. Im Jahr 2001 wurde die erste großtechnische Ultrafiltrationsanlage in Bayern errichtet. Mittlerweile ist das Verfahren der Ultrafiltration die Vorzugslösung für die Partikelentfernung vor abschließender Desinfektion (Krause, 2012).

Risiken für die Ressourcenverfügbarkeit und -beschaffenheit ergeben sich heute im Zusammenhang mit der Energiewende.

Der Anbau von Energiepflanzen und die Ausbringung von Gärresten aus Biogasanlagen führen zu einer Intensivierung des Eintrags von Stickstoff in das Grundwasser. Zudem bewirken Baumaßnahmen zu Errichtung von Windkraft- und Photovoltaikanlagen in wasserwirtschaftlich sensiblen Flächen eine Gefährdung der Grundwasserbeschaffenheit.

Die größte Gefahr einer Verschlechterung der Grundwasserbeschaffenheit geht von der Nutzung der Bioenergie aus. Aus vielen Gebieten Deutschlands werden steigende Nitratkonzentrationen im Grundwasser berichtet und die Einhaltung des Grenzwertes von 50 mg/l im Trinkwasser bereitet immer mehr Wasserversorgern Schwierigkeiten. Sinnvoll ist es natürlich, den Eintrag von Stickstoff zu minimieren und so die Ursache des Problems anzugehen. Allerdings wird es sehr lange dauern, bis eine Reduktion des Stickstoffeintrags zu einer signifikanten Verringerung der Nitratkonzentration im Grundwasser führt. Derzeit muss man davon ausgehen, dass für diese Übergangszeit eine technische Lösung zur Aufbereitung der betroffenen Grundwässer erforderlich sein wird. Eine Möglichkeit, Nitrat aus dem Wasser zu entfernen, ist der Einsatz der Nanofiltration oder der Niederdruckumkehrosmose. Die Professur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik verfügt über eine Versuchsanlage im halbtechnischen Maßstab für diese beiden Verfahren. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden verschiedenen Membranen und Betriebseinstellungen untersucht, um Grundwasser aus einer besonders betroffenen Region aufzubereiten. Sollten die Bemühungen um einen besseren Grundwasserschutz und die Suche nach einem weniger belasteten Grundwasser nicht erfolgreich sein, kann auf die Versuchsergebnisse zurückgegriffen werden und eine entsprechende großtechnische Anlage errichtet werden.

Eine derartige „Reparaturmaßnahme“ darf jedoch in keinem Fall als ein Signal für ein Nachlassen beim Grundwasserschutz missverstanden werden. Vielmehr muss in der Gesellschaft eine ehrliche Diskussion in Gang kommen, in welcher mögliche Gefahren, wirtschaftliche Interessen und ökologische Konsequenzen transparent gemacht werden müssen.

2.2 Erhalt und Schutz der technischen Anlagen der Wasserversorgung

Anlagen zur Wasserversorgung, insbesondere die Rohrnetze, stellen einen erheblichen materiellen Wert dar. Die Nutzungsdauer dieser Systeme reicht von 20 Jahren (Gewinnung und Aufbereitung) bis deutlich über 50 Jahre (Haupt- und Versorgungsleitungen). Seit dem Jahr 1946 hat der Freistaat die Erschließung von Versorgungsanlagen mit ca. 3,5 Mrd. Euro gefördert. Ein großer Teil der Anlagen wurde in den 1950 – 80er Jahren errichtet.

Aufgabe der Versorgungsunternehmen ist es, diese Anlagen wirtschaftlich zu betreiben, zu erhalten sowie ggf. zu sanieren

und zu erneuern. In den letzten Jahren sind verstärkt auch der Schutz vor Hochwasser und extremen Wetterereignisse sowie die Abwehr terroristischer Gefahren als Aufgaben hinzugekommen (Günthert und Narr, 2003).

Die Anlagen der Wasserversorgung sind der öffentlichen Wahrnehmung größtenteils entzogen. Gewinnungs- und Aufbereitungsanlagen befinden sich zusammen mit den Speicherbehältern außerhalb der Siedlungen und die Rohrnetze sind unterirdisch verlegt. Ins Bewusstsein der Verbraucher rücken die Anlagen erst dann, wenn es zu Beeinträchtigung der Wasserqualität oder Unterbrechungen der Versorgung (Rohrbrüchen) kommt. Daraus resultiert die Gefahr, dass insbesondere bei kleineren kommunalen Unternehmen die für den Erhalt der Netze und Anlagen erforderlichen Reinvestitionen nicht im notwendigen Umfang getätigt werden. Dieses „Leben von der Substanz“ stellt ein erhebliches Risiko für eine sichere Wasserversorgung dar.

Die gegenwärtige Situation einiger kleiner bayerischer Wasserversorgungsunternehmen im ländlichen Raum ist durch folgende Tatsachen charakterisiert:

- rückläufiger Wasserbedarf infolge des Bevölkerungsrückgangs und technischer Maßnahmen zu Wassereinsparung,
- Bedarf an redundanten Wassergewinnungsanlagen, ausgelöst durch Veränderungen des Wasserdargebotes infolge des Klimawandels,
- Investitionsstau bei der Erneuerung der Anlagen sowie
- steigender Kostendruck.

Daher besteht einerseits Bedarf an kosteneffizienten Verfahren für die Anlagensanierung, andererseits stimulieren die Suche nach redundanten Gewinnungsanlagen und die Auswirkungen des demographischen Wandels die Anpassung der Netzstruktur.

Bereits Ende der 1990er Jahre hat die Professur für Siedlungswasserwirtschaft verschiedene technische Lösungen entwickelt bzw. untersucht, die eine wirtschaftliche Sanierung von Rohrnetzen ermöglichen. Hier sind vorrangig die Arbeiten zum grabenlosen Rohrleitungsbau zu nennen (Günthert und Walther, 1997). Die dabei entwickelten Empfehlungen wurden zusammen mit anderen planerischen und technischen Hinweisen im Leitfaden „Einsparen von Kosten in der Trinkwasserversorgung“ veröffentlicht (Günthert et al., 2000). Dieser Leitfaden wird derzeit im Auftrag des Bayerischen Umweltministeriums aktualisiert und um Aspekte der Energieeffizienz und Energiegewinnung erweitert.

In aktuellen Projekten wurden Lösungsansätze entwickelt, mit denen kleine Versorgungsunternehmen über das eigene Unternehmen hinaus im Rahmen der interkommunalen Zusammenarbeit ihre Potenziale bezüglich Ressourcenverfügbarkeit, Speicherung und Anlagenbetrieb bündeln und erweitern können (Platschek et al., 2012). Wesentlich bei dieser Vorgehensweise ist, dass es sich um eine ganzheitliche Betrachtung handelt, die neben den Ressourcen auch den Zustand der Netze und die Personalqualifikation der Unternehmen einbezieht.

2.3 Betriebsorganisation und Effizienz von Wasserversorgungsunternehmen

Der Verbraucher zahlt für das Trinkwasser in Bayern durchschnittlich ein verbrauchsabhängiges Entgelt von 1,38 Euro/m³. Rechnet man dazu die nicht verbrauchsabhängige Zählergebühr, so entstehen einer Familie mit vier Personen im Durchschnitt Kosten von ca. 250 Euro pro Jahr. Davon unbenommen können die Wasserversorger Herstellungs- und Verbesserungsbeiträge erheben, die in obige Rechnung nicht eingeflossen sind. Ganz nebenbei sei erwähnt, dass mehr als 60 Prozent der Verbraucher weder ihren jährlichen Wasserbedarf noch die Höhe der daraus entstehenden Kosten kennen. Je nach der Perspektive, aus der man diesen Betrag betrachtet, stellt sich auch die Frage: „Ist das nicht zu hoch?“ oder „Reichen diese Einnahmen aus?“

Einige Verbraucherschützer oder Kartellbehörden sind der Meinung, dass die Wasserversorgungsunternehmen teilweise ein zu hohes Entgelt (Preis oder Gebühr) erheben. Tatsächlich sind bereits Preissenkungsverfügungen ausgesprochen worden. Bei vielen kleinen Unternehmen ist aber zu befürchten, dass mit den erhobenen Gebühren nicht die geforderte Kostendeckung erzielt wird und finanzielle Mittel für die notwendige Anlagenerneuerung und qualifiziertes Personal fehlen.

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels muss davon ausgegangen werden, dass die Gefahr einer Kostenunterdeckung weiter steigen wird. Die den Unternehmen zur Verfügung stehenden Einnahmen sind im Branchendurchschnitt zu 80 Prozent an die abgegebene Wassermenge gekoppelt. Über die verbrauchsunabhängige Zählergebühr werden nur etwa 20 Prozent der Einnahmen erzielt. Dem steht gegenüber, dass die entstehenden Kosten aber zu 80 Prozent verbrauchsunabhängige Fixkosten sind. Dieses Dilemma rückläufiger Erlöse bei hohem Fixkostenanteil kann nur durch neue Tarifmodelle aufgelöst werden (Oelmann und Gendries, 2012).

Nicht nur die Diskussion um die Höhe der Gebühren übt Druck auf die Wasserversorgungsunternehmen aus. Auch die vor kurzem angestoßene Debatte um eine Ausschreibungspflicht für Dienstleistungskonzessionen, die zum Teil als Einstieg in eine Privatisierung der Wasserversorgung gesehen werden kann, erfordert Reaktionen der Unternehmen, der politischen Verantwortlichen und der Verbraucher.

Aus Sicht der Verfasser muss es das Ziel der Unternehmen und Verbraucher sein, dass nicht nur die ortsnahe Wasserversorgung im Sinne der Ressourcennutzung erhalten bleibt und kostendeckende Gebühren erhoben werden. Es geht auch darum, die kommunale Entscheidungshoheit im Bereich der Wasserversorgung zu erhalten, um nachhaltig und unabhängig von Gewinnvorgaben handeln zu können.

Wie können diese Ziele erreicht werden? Die Wasserversorgungsunternehmen müssen die von ihnen erbrachten Leistungen

gegenüber den Verbrauchern transparent darstellen. Dies betrifft sowohl die erreichte Qualität als auch den entstehenden Aufwand und die darauf aufbauende Gebührenkalkulation. Beispielhaft sei hier die vom BDEW entwickelte „Kundenbilanz“ genannt, mit der der Verbraucher nachvollziehen kann, wie sich das von ihm zu zahlende Entgelt zusammensetzt (Lauruschkus, 2010).

Auch die Teilnahme an branchenweiten Leistungsvergleichen steigert die Transparenz und bietet außerdem die Möglichkeit, die eigene Leistungsfähigkeit zu analysieren und zu steigern. Zur Entwicklung der Benchmarking-Methodik im Bereich der Wasserwirtschaft hat die Professur einen maßgeblichen Beitrag geleistet (Günthert und Rapp-Fiegle, 2004).

Für die Sicherheit und die Nachhaltigkeit der jeweiligen Wasserversorgung ist das eingesetzte Personal entscheidend. Nur wenn dieses in der erforderlichen Anzahl und mit der notwendigen Qualifikation vorhanden ist, können technische und wirtschaftliche Risiken im Betrieb rechtzeitig erkannt und notwendige Maßnahmen ergriffen werden. Zur Unterstützung des Personals sollten die Betriebsabläufe und Zuständigkeiten zumindest in einem Betriebs- und Organisationshandbuch (BOH) festgeschrieben werden. Eine weitere Steigerung der Versorgungssicherheit kann erreicht werden, wenn die Unternehmen ein Technisches Sicherheitsmanagement (TSM) einführen und zertifizieren lassen. Sowohl die Teilnahme an Benchmarking-Projekten als auch die Erstellung eines BOH und die Erstellung einer sachgerechten Gebührenkalkulation sind mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Sie setzen die Verfügbarkeit zahlreicher technischer und betriebswirtschaftlicher Daten voraus. In größeren Unternehmen können diese Aufgaben in der Regel durch entsprechende eigene Fachabteilungen übernommen werden. Um kleinere Versorgungsunternehmen bei der Bewältigung dieser Aufgaben zu unterstützen, wurden an der Professur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik Handlungsempfehlungen entwickelt, welche die Bereiche Technik, Ressource und Personal bis hin zur Gebührenkalkulation abdecken (Platschek et al., 2012).

Eine wichtige Grundlage bei Planung, Bau und Betrieb von Wasserversorgungsanlagen ist das technische Regelwerk des

Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs (DVGW). Der DVGW fördert derzeit ein Forschungsvorhaben, in dem untersucht werden soll, ob die Belange und Spezifika der kleinen und sehr kleinen Unternehmen im Regelwerk ausreichend berücksichtigt sind. Dieses Vorhaben wird von der Professur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik bearbeitet.

Die Belange der kleinen Unternehmen werden durch die Universität der Bundeswehr auch in das vom BMBF geförderte Projekt „NaCoSi – Nachhaltigkeitscontrolling siedlungswasserwirtschaftlicher Systeme – Risikoprofil und Steuerungsinstrumente“ eingebracht. Dieses Projekt wird gemeinsam mit der Technischen Universität Darmstadt, der Universität Leipzig, dem Institut für sozial-ökologische Forschung, Frankfurt am Main und der aquabench GmbH, Hamburg bearbeitet.

3. Fazit

Eine gesicherte Versorgung mit Trinkwasser wird von den Bürgern heute als Selbstverständlichkeit angesehen. Auch wenn im vorliegenden Beitrag naturgemäß Probleme und ihre Lösung im Vordergrund stehen, muss betont werden, dass die öffentliche Wasserversorgung heute ein hervorragendes Niveau erreicht hat. Damit dies auch in Zukunft gewährleistet werden kann, ist ein nachhaltiger Umgang mit den genutzten Ressourcen und Anlagen erforderlich.

Die Professur Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik am Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München unterstützt mit ihrer Forschungstätigkeit insbesondere kleine Versorgungsunternehmen in ihrem Bemühen um eine gesicherte und wirtschaftliche Versorgung der Bürger mit Trinkwasser. Die im Rahmen zahlreicher Projekte erarbeiteten Lösungen umfassen die Bereiche Aufbereitungstechnologie, Anlagen- und Rohrleitungsbau sowie Wirtschaftlichkeit und Management von Versorgungssystemen. Sie tragen dazu bei, die ortsnahe Wasserversorgung zu erhalten, indem sie die kleinen Unternehmen in die Lage versetzen, die gesetzlichen Anforderungen mit den ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln zu erfüllen.

Literaturverzeichnis

- Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (2012): *Statistische Berichte - Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Bayern 2010*, München 2012.
- BBK (2005): *Spezialschutzkonzept für die Kritische Infrastruktur - Öffentliche Wasserversorgung. Leitfaden und Risikomanagement Konzept für Unternehmen*. Hg. v. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe.
- BDEW (2011): *Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2011*
- Frisch, H. (1998): *Probleme der Umweltforschung in historischer Sicht: Rundgespräch am 16. und 17. November 1992 in München. Die hydrogeologischen Räume Bayerns*. München: Pfeil (Bayerische Akademie der Wissenschaften «München» / Kommission für Ökologie: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, 14).
- Günthert, F.W. (2000): *Einsparen von Kosten in der Trinkwasserversorgung*. Hg. Institut für Wasserwesen (SWA) der Universität der Bundeswehr München und Bay. Landesamt für Wasserwirtschaft.
- Günthert, F.W.; Narr, N. (2002): *Erhebung der Schutz- und Sicherheitsvorkehrungen in bayerischen Versorgungsunternehmen. Gutachten im Auftrag des Bay. StMLU*
- Günthert, F.W.; Rapp-Fiegle, S. (2004): *Leitfaden Benchmarking in der Wasserwirtschaft. Abschlussbericht zum durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekt*.
- Günthert, F. W., Walther, G. (1997): *Kostenaspekte zu neuen Verlegeverfahren für Trinkwasserleitungen im ländlichen Raum. Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Technischen Universität München, Band 132*, München 1997.
- Krause, S.; Panglisch, S. (2011): *Einzelwasserversorgungen – Gefährdungen und Schutz*. In: Günthert, Frank Wolfgang; Krause, Steffen; Obermayer, A. (2011): *Politik, Wirtschaftlichkeit, Anlagentechnik*. Tagungsband zum 3. Seminar Wasserversorgung. Aachen: Shaker (Mitteilungen / Universität der Bundeswehr, München, Institut für Wasserwesen, H. 112).
- Krause, S. (2012): *Ultrafiltration für kleine Trinkwasseraufbereitungsanlagen. Empfehlungen zu Planung und Betrieb*. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2012.
- Lauruschkus, F.; Rehberg, J. (2010): *Die Kundenbilanz – Transparenzinitiative der Wasserwirtschaft. energie - wasser-praxis (12)*, S. 24–27
- Oelmann, M., Gendries, S (2012): *Auf dem Weg zu einem neuen Tarifmodell in der deutschen Wasserversorgung*. GWF Wasser Abwasser 153, 7 (2012)
- Platschek, C.; Krause, S. und Günthert, F.W. (2012): *Die Wasserversorgung durch kleine Unternehmen in Bayern - Zustandsanalyse und Handlungsempfehlungen*. In: 45. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. S. 50/1-50/14, Aachen 2012.
- Umweltbundesamt (2011): *Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherinnen und Verbraucher über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland*. Bonn/ Dessau-Roßlau, 2011.

Neue Verkehrs- und Mobilitätsdienste im Rahmen der Elektromobilität



Prof. Dr.-Ing. Klaus Bogenberger (Jahrgang 1971)

hat an der TU München Bauingenieurwesen studiert. Nach dem Studium promovierte er über „Adaptive Fuzzy Systeme zur Zuflussdosierung“, ebenfalls an der TU München. Die Veröffentlichung und der Vortrag zu diesem Thema wurden mit dem Heureka-Preis 2002 ausgezeichnet. Seine berufliche Karriere begann 2001 bei der BMW AG, dort war er insgesamt 5 Jahre im Bereich „Wissenschaft und Verkehr“ tätig. Dabei leitete er F+E Projekte, wie z.B. INVENT und AKTIV und beschäftigte sich inhaltlich mit Themen wie Verkehrsinformationen, Navigation und Fahrerassistenz. Anschließend wechselte er in den Bereich des „BMW-Qualitätsmanagements“ und war dort zuständig für Produktqualität und Produkthaftungsfragen im Bereich Dieselmotoren, Getriebe, und Infotainmentsysteme. Von 2008 bis 2012 war er geschäftsführender Gesellschafter bei der TRANSVER GmbH. Seit 01.01.2012 leitet Herr Bogenberger die Professur „Verkehrstechnik“ am Institut für Verkehrswesen und Raumplanung der Universität der Bundeswehr München. Dort forscht er unter anderem zu den Themen Carsharing, Bikesharing und Elektromobilität.

E-Mail: klaus.bogenberger@unibw.de



Dipl.-Geogr. Florian Paul (Jahrgang 1981)

hat in München sozialwissenschaftliche Geographie mit den Nebenfächern Geoinformatik und Raumentwicklung an der TU und LMU studiert. In seiner abschließenden Diplomarbeit beschäftigte er sich schwerpunktmäßig mit der Verkehrsgeographie und dem Thema Radverkehrsförderung in München. Von 2008 bis 2013 war er Mitarbeiter in der Stabsstelle für strategische Planungsprojekte bei der Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG), einer Tochtergesellschaft der Stadtwerke München. Zu seinen Hauptaufgaben zählte dort die Planung und Konzeptentwicklung von verkehrsmittelübergreifenden Angeboten wie Bike + Ride, Fahrradverleihsysteme, Park + Ride und Carsharing. Daneben betreute und leitete er verschiedene Mobilitätsmanagementprojekte für Schulkinder, Senioren und Neubürger. Seit 01.07.2013 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität der Bundeswehr am Institut für Verkehrswesen und Raumplanung. Dort forscht er zum Thema Radverkehr und E-Bikesharing.

E-Mail: florian.paul@unibw.de



Dipl.-Math. Simone Weikl (Jahrgang 1987)

hat an der TU München Diplom-Mathematik mit den Nebenfächern Wirtschaft und Informatik studiert. In ihrer abschließenden Diplomarbeit beschäftigte sie sich schwerpunktmäßig mit mathematischen Optimierungsmethoden. Während ihres Studiums sammelte sie erste Erfahrungen im Bereich der Verkehrstechnik im Rahmen einer Tätigkeit als studentische Hilfskraft bei der TRANSVER GmbH. Zu ihren Hauptaufgaben zählten dort die verfeinerte Verkehrslagerekonstruktion anhand unterschiedlicher Messdaten und die Simulation im Bereich verkehrstechnischer und verkehrsplanerischer Anwendungen. Seit 01.01.2012 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin der Universität der Bundeswehr München am Institut für Verkehrswesen und Raumplanung. Dort forscht sie zum Thema Reallokation von Fahrzeugen in free-floating Carsharing Systemen.

E-Mail: simone.weikl@unibw.de

1. Einleitung

Dem kontinuierlich zunehmenden Straßenverkehr wurde in Deutschland bis in die 90er Jahre hauptsächlich mit Ausbau und Neubau von Infrastruktur begegnet. Wachsendes ökologisches Bewusstsein, zunehmende Ressourcenknappheit und neue technische Möglichkeiten, vor allem im Bereich IT-Technologien führten anschließend dazu, dass man dazu überging, Verkehr auf der bestehenden Infrastruktur dynamisch zu managen und nicht mehr einfach dem Wachstum durch weiteren Ausbau Rechnung zu tragen. Die Begriffe „Telematik“ (ein Kunstwort aus „Telekommunikation“ und „Informatik“) und „Verkehrsmanagement“ entstanden und prägten die Verkehrstechnik. Nach wie vor spricht man von rd. 10 Prozent Leistungsfähigkeitsgewinn, der durch modernes, dynamisches Verkehrsmanagement möglich ist. Zuvor z. T. etwas „belächelt“ bzw. unterschätzt, begann man ab 2000 dann vor allem auch in der Praxis sich mit dem sog. „Nachfragemanagement“ oder „Mobilitätsmanagement“ zu beschäftigen und dementsprechende Maßnahmen erfolgreich umzusetzen. D. h. mehr oder weniger Verkehr erst gar nicht entstehen zu lassen, ihn zu vermeiden oder falls dies nicht möglich ist, diesen auf umweltverträglichen Verkehrsträgern (vor allem Fuß, Rad und ÖPNV) abzuwickeln. Sowohl das klassische Verkehrsmanagement als auch das Mobilitätsmanagement sind heute etablierte, sehr erfolgreiche Lösungsmaßnahmen.

In den letzten Jahren nun erlebten gerade sogenannte Shareconomy-Ansätze, wie Bike- und Carsharing, einen großen Boom. Dies ist vor allem auf das Engagement der Deutschen Bahn und der beiden Automobilhersteller BMW AG und Daimler AG zurück zu führen. Parallel dazu setzte die Bundesregierung mehrere große Forschungsförderprogramme zu Elektromobilität auf.

Nachfolgend wird nun im Speziellen auf Car- und Bikesharing Systeme und deren mögliche Weiterentwicklungen im Rahmen der Elektromobilität eingegangen. Im Bereich von Carsharing Systemen ist dies das Angebot von Elektrofahrzeugen, vor allem im sogenannten „free-floating“ Betrieb. Die Elektrifizierung von Leihfahrrädern erlaubt vor allem längere Reichweiten und höhere Geschwindigkeiten, die Auswirkung auf Bikesharing Systeme wird diskutiert.

2. Carsharing und Elektromobilität

2.1 Die Entwicklung des Carsharing

Das Mobilitätskonzept Carsharing entwickelte sich bereits Ende der 1980er Jahre in Luzern (Schweiz) als Alternative zum privaten Fahrzeugbesitz. Dabei spielte der Umweltaspekt eine übergeordnete Rolle. Carsharing wurde in gemeinnützigen Vereinen

oder Nachbarschaftsgruppen organisiert, in denen sich mehrere Mitglieder die vorhandenen Fahrzeuge teilten. Seit Ende der 1990er Jahre fand dann eine Professionalisierung des Carsharing statt (Schwieger, 2011).

Mittlerweile bieten große, z. T. internationale Mobilitätsdienstleister eine hohe Vielfalt an Fahrzeugen an verschiedenen Orten an und garantieren eine gute Instandhaltung der Fahrzeuge. Die Kunden registrieren sich meist über das Internet und an Registrierungsstationen. Anschließend kann der Kunde mit Hilfe einer Smartphone Anwendung oder über das Internet nach nahegelegenen Fahrzeugen suchen. Nach erfolgreicher Suche kann das passende Fahrzeug gebucht und anschließend genutzt werden. Dabei gibt es unterschiedliche Systeme der Fahrzeugrückgabe. Auch die Preismodelle und Geschäftsbedingungen werden individuell vom jeweiligen Carsharing Anbieter definiert und sind konzeptabhängig. Die Versicherung ist meist mit Selbstbeteiligung im Preis enthalten.

Mit der Entwicklung und dem Potenzial des Carsharing in Deutschland befassen sich ausführlich (Maertins, 2006), (Loose, 2004) und (Wilke, 2007). Zu Beginn der Entwicklung des Carsharing wurden ausschließlich stationsbasierte Carsharing Systeme implementiert. Diese zeichnen sich durch feste Stationen z. B. auf angemieteten Parkplätzen oder in Parkgaragen aus. Vor der Nutzung des Fahrzeugs muss dieses unter Angabe des Nutzungsbeginns sowie des Nutzungsendes gebucht werden. Dabei ist die Buchung auch längere Zeit im Voraus möglich. Diese Systeme eignen sich ausschließlich für Rundfahrten, da die Rückgabe des Fahrzeugs stets an der Ausgangsstation erfolgen muss. Die Ähnlichkeit zur herkömmlichen Autovermietung ist somit noch stärker vorhanden. Meist fallen bei diesen Systemen feste Mitgliedsbeiträge sowie zeit- und kilometerabhängige Nutzungskosten inklusive Spritkosten und inklusive Versicherung mit Selbstbeteiligung an. Das größte stationsgebundene Carsharing System in Deutschland ist das System Flinkster der Deutschen Bahn AG. Dieses ist deutschlandweit in 140 Städten mit circa 2.800 Fahrzeugen vertreten.

Die Innovation Carsharing erfuhr vor allem in den letzten vier Jahren einen starken Kundenzuwachs. Mittlerweile nutzen deutschlandweit bereits mehr als 450.000 Kunden zahlreiche Carsharing Angebote. Dieses rasante Wachstum erklärt sich vor allem durch die neuen sogenannten „free-floating“ Carsharing Systeme, die in Ergänzung zu den traditionellen stationsgebundenen Systemen eingeführt wurden. Diese neuen Systeme zeichnen sich durch eine höhere Flexibilität aus, da sie nicht an Stationen gebunden sind und Ein-Weg-Fahrten erlauben. Die Entwicklung der Kunden- und Fahrzeuganzahlen der klassischen stationsgebundenen und neuen free-floating Carsharing Systeme in Deutschland ist in Abbildung 1 dargestellt.

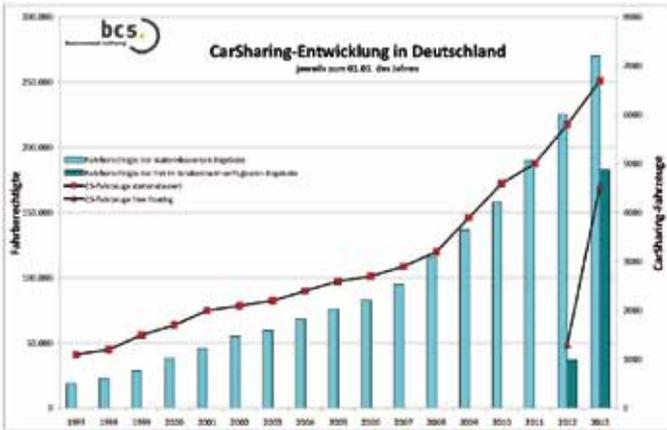


Abbildung 1
Entwicklung der Kunden- und Fahrzeuganzahlen von stationsgebundenen und free-floating Carsharing Systemen in Deutschland (Quelle: Bundesverband CarSharing e. V. (bcs), 2013)

Die Anbieter von free-floating Systemen definieren ein Geschäftsgebiet (meist das Stadtzentrum) und kaufen darin Parklizenzen für alle Fahrzeuge ihrer Flotte. Somit ist die Rückgabe der Fahrzeuge auf fast jedem beliebigen Parkplatz innerhalb des Geschäftsgebiets möglich. Abbildung 2 zeigt exemplarisch das Geschäftsgebiet des Carsharing Anbieters DriveNow in München. Der Kunde ist nicht mehr an Stationen gebunden und kann die Carsharing Fahrzeuge auch für Ein-Weg-Fahrten nutzen. Meist setzt sich der Preis aus einer einmaligen Anmeldegebühr sowie zeitabhängigen Nutzungskosten inklusive Spritkosten und inklusive Versicherung mit Selbstbeteiligung zusammen. Einige Anbieter verlangen zusätzliche Gebühren, falls das Fahrzeug außerhalb des Geschäftsgebiets abgestellt wird sowie reduzierte Nutzungsgebühren während des Parkens. Bei diesen neuen Systemen ist keine Buchung im Voraus notwendig, was die Nutzung flexibler und spontaner macht.



Abbildung 2
Geschäftsgebiet des free-floating Carsharing Systems DriveNow in München (Quelle: DriveNow GmbH & Co. KG, 2013)

Free-floating Carsharing wird vermehrt durch Autohersteller angeboten. Ende 2012 nutzten bereits 183.000 eingeschriebene Kunden diese neuen Systeme. Um wirtschaftlich zu sein, benötigen free-floating Systeme eine hohe Anzahl potenzieller Kunden und eignen sich daher hauptsächlich für Großstädte und verdichtete Ballungsräume mit mindestens 500.000 Einwohnern (Graf, 2013). In Deutschland dominieren die Systeme Car2Go (Daimler AG) und DriveNow (Joint Venture der BMW AG und der Sixt AG). Vor allem Car2Go expandiert auch global und bietet sein System bereits in 23 Städten weltweit an. Eine Übersicht der Städte, in denen diese beiden free-floating Anbieter aktiv sind, liefern die Tabellen 1 und 2.

Tabelle 1
DriveNow Städte und Flottenzusammensetzung weltweit (Quelle: DriveNow GmbH & Co. KG, 2013)

DriveNow			
Stadt	Anzahl Fahrzeuge insgesamt	Anzahl E-Fahrzeuge	Seit
München	300	20	Juni 2011
Berlin	800	40	Sept. 2011
Düsseldorf	250	0	Jan. 2012
San Francisco	70	70	Aug. 2012
Köln	350	0	Okt. 2012

Tabelle 2
Car2Go Städte und Flottenzusammensetzung weltweit (Quelle: car2go Deutschland GmbH, 2013)

Car2Go			
Stadt	Anzahl Fahrzeuge insgesamt	Anzahl E-Fahrzeuge	Seit
Ulm	300	25	März 2009
Austin	300	0	Mai 2010
Hamburg	700	0	Apr. 2011
Vancouver	400	0	Juni 2011
San Diego	300	300	Nov. 2011
Amsterdam	300	300	Nov. 2011
Wien	600	0	Dez. 2011
Düsseldorf	300	0	Aug. 2013
Washington DC	300	0	März 2012
Portland	250	30	März 2012
Berlin	1200	16	Apr. 2012
Toronto	375	0	Juni 2012
Miami	240	0	Juli 2012
Calgary	400	0	Juli 2012
Köln	350	0	Sep. 2012
Stuttgart	450	450	Nov. 2012
London	500	0	Dez. 2012
Seattle	330	0	Dez. 2012
Birmingham	250	0	Mai 2013
Denver	300	0	Juni 2013
München	300	0	Juni 2013
Mailand	450	0	Aug. 2013
Minneapolis	300	0	Sep. 2013

2.2 Die Wirkung und Nutzungsstruktur von Carsharing Systemen

Empirische Studien zeigen, dass Carsharing Systeme zur Lösung von Problemen in den Bereichen Verkehr, Raumnutzung, Umwelt und Gesellschaft beitragen (Martin und Shaheen, 2011; Martin et al., 2010). Dabei ist erwähnenswert, dass Carsharing den privaten Fahrzeugbesitz um neun bis 13 Fahrzeuge pro Carsharing Fahrzeug reduziert und zu einer positiven Veränderung des Mobilitätsverhaltens beiträgt. Diese positiven Wirkungen wurden bislang nur für klassische stationsgebundene Carsharing Systeme mit Rundfahrten nachgewiesen. Die Wirkungen der neuen free-floating Carsharing Systeme wurden noch nicht umfassend analysiert. Das vom Bundesministerium für Umwelt geförderte Projekt „WiMobil – Wirkung von E-Car Sharing Systemen auf Mobilität und Umwelt in urbanen Räumen“ schließt diese Lücke. Für die Testfelder München und Berlin und die Carsharing Systeme Flinkster und DriveNow werden anhand verschiedener Analysewerkzeuge etwa Auswirkungen der Systeme auf Parkdruck, Intermodalität, Fahrzeugbesitz etc. untersucht.

Dabei untersuchten Schmöllner und Bogenberger (Schmöllner und Bogenberger, 2013) in ersten Analysen vor allem, wie und für welche Zwecke Carsharing genutzt wird. Die Auswertung von Buchungsdaten ergab für das betrachtete free-floating Carsharing System eine durchschnittliche Buchungsdauer von 42,74 Minuten, davon durchschnittlich 30,36 Minuten im Fahrtmodus und 12,38 Minuten im Parkmodus. Die durchschnittliche Distanz betrug 8,57 km. Beim betrachteten stationsgebundenen Carsharing System dauerten die Buchungen mit durchschnittlich 837,35 Minuten (circa 14 Stunden) fast 20 Mal so lange, wobei die reine Fahrtdauer 811,16 Minuten betrug. Dabei wurde durchschnittlich eine Distanz von 115,38 km zurückgelegt. Im Vergleich zum free-floating System wurde also mehr als 10 Mal so weit gefahren. Die beiden Systeme werden also für sehr unterschiedliche Fahrtzwecke genutzt und ergänzen sich somit gut. Betrachtet man den tageszeitlichen Verlauf von Buchungsbeginn und -ende (Abbildung 3), kann man ebenfalls Unterschiede zwischen dem free-floating und dem stationsgebundenen System erkennen. Aufgrund der kurzen Buchungsdauern von unter

einer Stunde, werden beim free-floating System im Tagesverlauf jeweils ähnlich viele Buchungen gestartet und beendet. Das free-floating System weist sowohl bei den Buchungstarts als auch bei den -enden zwei Spitzen auf, die erste kleinere Spitze zwischen 8 und 10 Uhr und die zweite größere Spitze zwischen 17 und 20 Uhr. In der größeren Abendspitze werden circa 32 Prozent aller Fahrten des free-floating Systems gestartet und beendet. Beim stationsgebundenen System haben jedoch Buchungsbeginn und Buchungsende unterschiedliche Schwerpunkte. Zwischen 8 und 10 Uhr starten die meisten Buchungen (circa 27 Prozent), wohingegen aufgrund der längeren Fahrtauern die meisten Fahrzeugrückgaben erst abends zwischen 17 und 20 Uhr stattfinden (circa 37 Prozent). Außerdem fällt auf, dass der Anteil der Fahrten, die nachts gestartet werden, beim free-floating System bedeutend höher ist.

2.3 Elektrofahrzeuge im Carsharing

In den letzten Jahren wurden zunehmend Elektrofahrzeuge in die Carsharing-Flotten integriert oder sogar rein elektrisch betriebene Carsharing Systeme aufgebaut. Kunden des Systems Flinkster der Deutschen Bahn AG haben Zugang zu über 100 Elektrofahrzeugen. Auch andere Anbieter bieten bereits Elektrofahrzeuge an. Außerdem stellt beispielsweise in Berlin das rein elektrische Carsharing Konzept Citroën Multicity 350 Fahrzeuge mit Elektroantrieb für Kunden bereit. Abbildung 4 zeigt exemplarisch ein Elektrofahrzeug an einer Ladesäule eines Carsharing Systems in Paris.

Abbildung 4
Elektrofahrzeug an einer Ladesäule eines Carsharing Systems in Paris (Quelle: Eigene Aufnahme)

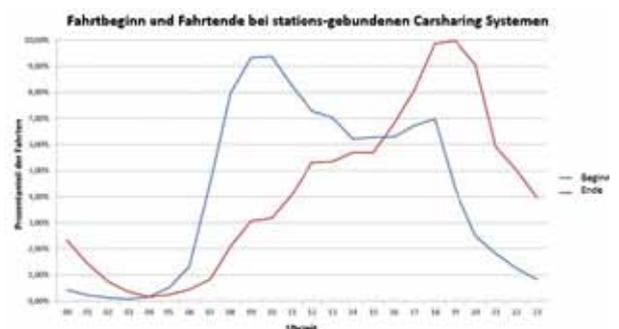
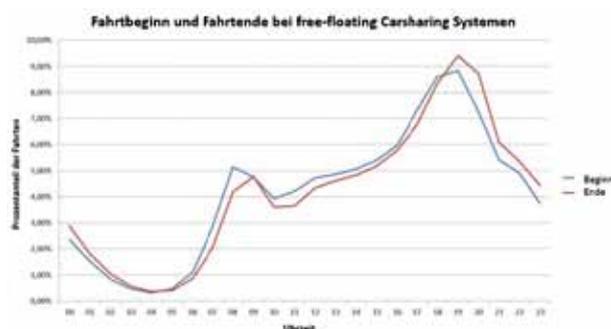


Abbildung 3
Tageszeitlicher Verlauf von Buchungsbeginn und -ende bei einem free-floating und einem stationsgebundenen Carsharing System (Quelle: Schmöllner und Bogenberger, 2013)

Vor dem Hintergrund des ambitionierten Ziels der deutschen Bundesregierung von einer Million zugelassener Elektrofahrzeuge bis 2020, bieten Carsharing Systeme eine gute Werbeplattform für dieses innovative umweltschonende Antriebskonzept. Die neuesten E-Fahrzeugmodelle sind im Rahmen der Carsharing Nutzung im Stadtbild sichtbar. Elektromobilität kann im Carsharing ausprobiert und erlebt werden. Somit können Kundenhemmnisse wie z. B. die sogenannte „Reichweitenangst“ abgebaut werden. Aufgrund der geringen Distanzen und Fahrtdauern im free-floating Carsharing eignen sich Elektrofahrzeuge vor allem für diese Konzepte.

Elektrofahrzeuge werden nach heutigem Kenntnisstand „nur“ Gesamtreichweiten von rund 150 km besitzen. Der Betreiber des Carsharing Systems muss diese Fahrzeuge somit viel stärker als herkömmliche Fahrzeuge „monitoren“ und auch immer wieder gezielt ins System eingreifen, um die Fahrzeuge aufzuladen. Der psychologische Effekt der sogenannten „Reichweitenangst“ bei Elektrofahrzeugen verstärkt diesen Effekt noch, der Carsharing Anbieter muss dem Kunden quasi „immer“ ein vollgeladenes Fahrzeug zur Verfügung stellen. Die Integration von Elektrofahrzeugen in Carsharing Flotten ist also mit zusätzlichem logistischen Aufwand verbunden. Dieser fällt bei stationsgebundenen Systemen geringer aus, da jedem E-Fahrzeug eine bestimmte Station mit Ladesäule zugeordnet werden kann. Durch die Rundfahrten und somit die Rückkehr des Fahrzeugs zur Ausgangsstation ist eine rechtzeitige Wiederaufladung des Fahrzeugs nach jeder Nutzung gewährleistet. Anders ist dies bei free-floating Carsharing Systemen, die Ein-Weg-Fahrten zu beliebigen Parkplätzen im Geschäftsgebiet erlauben. Elektrofahrzeuge landen nach der Nutzung nicht automatisch wieder an einer Ladesäule. Sie müssen spätestens nach Erreichen eines kritischen Ladestands entweder durch den Kunden (mittels Anreiz- oder Bonussystem) oder den Betreiber an eine Ladestation (dezentral oder zentral) im Geschäftsgebiet gebracht werden. Bezüglich des Betriebs und der Nutzung von Elektrofahrzeugen im free-floating Carsharing stellen sich somit wichtige Fragen, wie:

- Sind im Geschäftsgebiet genügend Ladesäulen für eine dezentrale Ladestrategie vorhanden oder muss zentral (z. B. in einem Parkhaus/Depot) geladen werden?
- Ab welchem Ladestatus greife ich in den Betrieb ein und veranlasse eine Aufladung der E-Fahrzeuge?
- Wie greife ich ein?
- Welche Steuerungs- und Reallokationsstrategien können zur optimalen Aufladung und anschließender (Wieder-)Verteilung der Elektrofahrzeuge im Geschäftsgebiet beitragen?
- etc.

Unabhängig vom logistischen Aufwand für E-Fahrzeuge, werden Fahrzeuge im free-floating Carsharing permanent umgesetzt und landen so zwangsläufig auch in Stadtteilen geringerer Nachfrage, während sie in Gebieten hoher Nachfrage benötigt werden. Aus Kundensicht sind ein optimales Angebot für die individuelle Mobilität und ein möglichst hoher Versorgungsgrad zu schaffen. Das Prinzip der „Mobilität auf Knopfdruck“ ist

aufgrund von Angebotsengpässen noch nicht immer zuverlässig gewährleistet. Es sollte also entweder bei der Notwendigkeit der Aufladung von E-Fahrzeugen und/oder bei Vorhandensein eines Ungleichgewichts zwischen Angebot und Nachfrage eine Auflade- und/oder Reallokationsstrategie angewandt werden.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen beispielhaft einen Auflade- und Reallokationsprozess für ein E-Carsharing System mit zentralem Ladepot.

E-Fahrzeuge mit geringem Ladezustand werden in drei Kategorien je nach Dringlichkeit des Ladevorgangs eingeteilt (siehe Abbildung 5): Priorität 1 (hoch) für E-Fahrzeuge in Zonen mit hoher Nutzungswahrscheinlichkeit, Priorität 2 (mittel) für E-Fahrzeuge in Zonen mit mittlerer Nutzungswahrscheinlichkeit und Priorität 3 (gering) für E-Fahrzeuge in Zonen mit geringer Nutzungswahrscheinlichkeit. Diese E-Fahrzeuge mit geringem Ladezustand werden in der zuvor bestimmten Prioritätenfolge manuell entweder einzeln oder auf Autotransportern zum E-Parkhaus/Depot befördert (D). Für E-Fahrzeuge mit mittlerem Ladezustand, deren Aufladung weniger dringlich ist, kann die Reallokation der Fahrzeuge zum E-Parkhaus durch Anreize (Freifahrten, Bonusminuten, etc.) auf den Nutzer übertragen werden (N). Schließlich ist für E-Fahrzeuge mit hohem Ladezustand keine Aufladung nötig. Diese Fahrzeuge werden durch nutzerbasierte oder manuelle Reallokation in Segmente mit hoher und mittlerer Nachfrage umgesetzt.



Abbildung 5
Einholen der zu ladenden E-Fahrzeuge/ Reallokation der ausreichend geladenen E-Fahrzeuge
(Quelle: Eigene Abbildung)

Nach der Aufladung der E-Fahrzeuge im E-Parkhaus/Depot müssen dieser wieder optimal im Geschäftsgebiet verteilt werden. Dies kann entweder wieder einzeln oder mit Hilfe von Autotransportern geschehen. Die Verteilung der Fahrzeuge orientiert sich an der Nachfrage in den einzelnen Zonen. Vor allem Segmente hoher und mittlerer Nachfrage, in denen die Anzahl an Fahrzeugen unzureichend und in denen die ÖV-Anbindung schlecht ist, werden versorgt (siehe Abbildung 6).

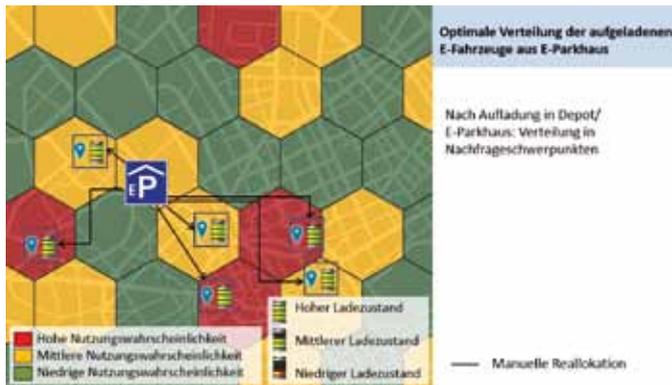


Abbildung 6
Optimale Verteilung der aufgeladenen E-Fahrzeuge im Geschäftsgebiet (Quelle: Eigene Abbildung)

3. Fahrradverleihsysteme und Elektromobilität

3.1 Die Entwicklung von Fahrradverleihsystemen

Ganz im Gegensatz zu den modernen Carsharing Angeboten in den Metropolen und Ballungsgebieten geht der Trend bei öffentlichen Fahrradverleihsystemen (FVS) weg von free-floating Systemen und hin zu stationären Verleihangeboten.

In immer mehr Großstädten in Europa, Asien und Nordamerika breiten sich Angebote mit öffentlichen Leihrädern aus und leisten einen wichtigen Beitrag zur Förderung des Radverkehrs als innovatives, umweltfreundliches und ressourcenschonendes Mobilitätsangebot im urbanen Raum. So wird eine weltweite Zunahme der Systeme von 68 im Jahr 2007 auf fast 493 bis 2012 verzeichnet. Allein in Europa stieg die Zahl in diesem Zeitraum von 61 auf 352 FVS, gefolgt von Asien mit 90, Nordamerika mit 35, Südamerika mit 15, Australien/Ozeanien mit vier und Afrika mit einem Fahrradverleihsystem (BSB, 2012).



Abbildung 7
Bike-Sharing World Map (Quelle: <http://bike-sharing.blogspot.de>)

Besonders in Städten mit einem geringen Radverkehrsanteil sowie einer niedrigen Fahrrad-Besitzquote leisten diese Angebote einen Schub zur Förderung des Radfahrens. In Metropolen wie Paris, London oder New York wurden in den vergangenen Jahren stationäre Fahrradverleihsysteme eingeführt, um eine Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr (MIV) auf das Fahrrad zu fördern. Diese FVS sind darüber hinaus zu einem Indikator für fahrradfreundliche Verkehrspolitik geworden und schaffen in Kombination mit dem öffentlichen Nahverkehr attraktive Anreize zum Umstieg auf den Umweltverbund.

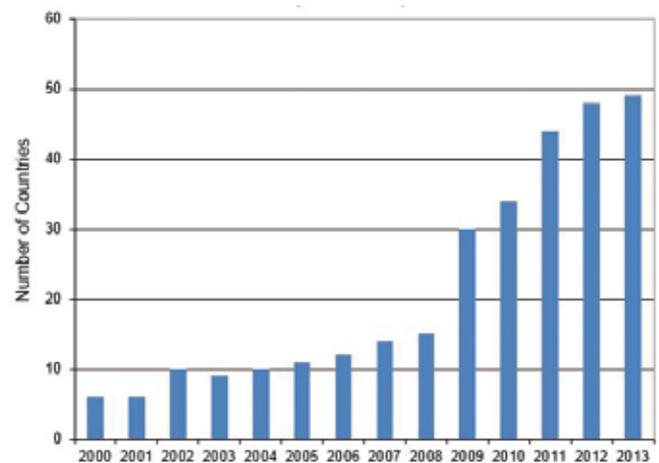


Abbildung 8
Weltweite Zunahme der Fahrradverleihsysteme zwischen 2000 und 2013 (Quelle: Earth Policy Institute)

Seit kurzem ist auch in New York City ein neues FVS mit 3.000 Rädern an den Start gegangen. Es soll unter anderem das New Yorker U-Bahn-Netz ergänzen, und so den Nutzern ein noch schnelleres Vorankommen ermöglichen. Auch die über 50 Millionen Touristen, die jährlich New York besuchen, stehen als Zielgruppe im Fokus. Bereits zwei Jahre zuvor gab es einen öffentlichen Beteiligungsprozess mit den Bürgern der Stadt, um die besten Standorte für die Fahrradverleih-Terminals heraus zu finden. Ausbauziel sind 600 Verleih-Terminals und insgesamt 10.000 Leihräder (Citibike, 2013).

Wie Abbildung 9 verdeutlicht, befinden sich die größten Fahrradverleihsysteme derzeit in China. In Europa können lediglich Paris, London, Barcelona und Lyon, sowie Montreal und New York in Nordamerika, mit den asiatischen Megacities mithalten.

Largest Bike-Sharing Programs Worldwide, Early 2013

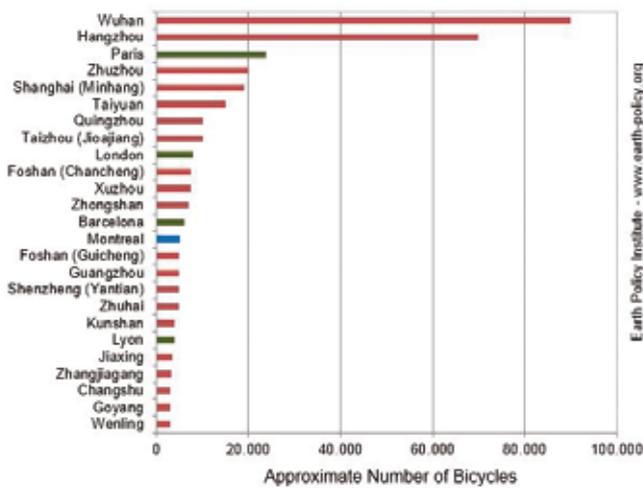


Abbildung 9
Größte Fahrradverleihsysteme weltweit
(Quelle: Earth Policy Institute)

In Europa beweist insbesondere das Beispiel Paris, mit mehr als 20.000 Fahrrädern an über 1÷300 Stationen im Stadtgebiet, dass der Radverkehr eine wichtige Größe in der Verkehrsplanung und im öffentlichen Straßenbild bekommen hat (Difu, 2010, 2). Auch in London wurde im Jahr 2010 ein öffentliches FVS implementiert mit mittlerweile 8.000 Fahrrädern an über 550 Fahrradstationen. Hier soll das neue Fahrradangebot helfen, den stark überlasteten öffentlichen Nahverkehr zu entlasten und den MIV, gerade auf sehr kurzen Strecken, weiter zu reduzieren. Seit der Einführung des Systems im Juli 2010 gab es rund 20 Millionen Ausleihvorgänge, die Verleihrate liegt bei ca. 30.000 Ausleihen täglich (TFL, 2013, 2 ff.).



Abbildung 10
Fahrradverleihsystem London
(Quelle: <http://evansblog01.ominor.com>)

In Deutschland besitzen zwar etwa 80 Prozent aller Privathaushalte bereits ein oder mehrere Fahrräder, allerdings ist ein Großteil dieser Räder nicht im täglichen Gebrauch, oder es handelt sich um Zweit- und Dritträder. Pendler benutzen ihr Fahrrad vor allem für die letzte Strecke zur Arbeit. Touristen und Besucher haben ihr eigenes Fahrrad in der Regel nicht dabei. Dementsprechend existiert durchaus auch in deutschen Großstädten ein Markt für öffentliche FVS. Der Trend zur multimodalen Mobilität und Förderung des Radverkehrs ist darüber hinaus ein bedeutender Imagefaktor für die Städte geworden. In Deutschland haben sich zwei Hauptanbieter mit größeren Angeboten an FVS etabliert. Unter der Marke „Call a Bike“ hat die Deutsche Bahn AG an mehr als 50 Fernverkehrsbahnhöfen und in acht Städten free-floating und stationsgebundene Lösungen entwickelt. Das Privatunternehmen Nextbike aus Leipzig bietet in zahlreichen Städten einfach zu handhabende Leihräder an, die auf technische Verleihstationen weitestgehend verzichten. Beide Systeme werden auch von Städten und ÖPNV-Betreibern als Kooperationspartner unter deren eigener Marke geführt, stadtspezifisch weiterentwickelt und finanziell unterstützt (z. B. seit 2009 als „Stadtrad Hamburg“, seit 2010 „metrorad ruhr“ im Ruhrgebiet und dem „usedomrad“ auf der Insel Usedom) (Difu, 2010).

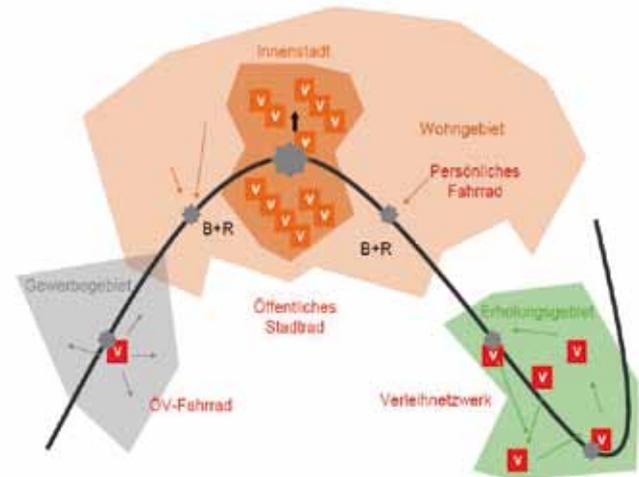


Abbildung 11
Mobilitätsfunktionen von Fahrradverleihsystemen (Quelle: Difu)

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) hat 2009 mit dem Wettbewerb „Innovative öffentliche Fahrradverleihsysteme – Neue Mobilität in Städten“ einen wichtigen Anreiz zur Initiative und Umsetzung von Pilotprojekten gegeben. Von den acht geförderten Modellprojekten sind sechs Projekte in den Jahren 2010 bis 2012 umgesetzt worden. Die Besonderheit des Modellversuchs lag in der angestrebten Verknüpfung des Fahrrades mit dem Öffentlichen Verkehr. Diese innovative Integration des Fahrrades in das Angebot des öffentlichen Nahverkehrs auch in tariflicher, baulicher oder or-

Abbildung 12 und 13
E-Call a Bikes in München
(Quelle: Eigene Aufnahme)



ganisatorischer Hinsicht gab es weltweit bisher noch nicht. Innerhalb des Modellprojekts wurde in Stuttgart eine Erweiterung des dortigen FVS mit Pedelecs realisiert (BMVBS, 2012, 3 ff.).

3.2 Elektrofahrräder in Fahrradverleihsystemen

Die Integration von pedalelektrischen Fahrrädern, sogenannten Pedelecs oder Elektrofahrrädern, kann einen sinnvollen Beitrag zur innovativen Weiterentwicklung von öffentlichen FVS leisten. Für eine Markteinführungsstrategie ist es deshalb interessant, diese Räder auch in Leihfahrradsysteme zu integrieren, um einen leichten und günstigeren Zugang zu gewährleisten. E-Bikes und Pedelecs sind im Vergleich zu normalen Fahrrädern deutlich teurer, können jedoch mithilfe der elektrischen Unterstützung größere Radien und topographisch anspruchsvolle Gebiete erschließen. Sie erhöhen die Attraktivität des Fahrradverleihsystems und reduzieren Ungleichgewichte bei der Fahrradverteilung, die einen hohen Kosten- und Ressourcenaufwand beim Betrieb eines FVS verursachen kann (Raumkom, 2011, 10 ff.).

Das Institut für Verkehrswesen und Raumplanung der Universität der Bundeswehr untersucht im Rahmen des Forschungsprojekts „DC-Laden am Olympiapark“ die Entwicklung eines

Pedelec-Verleihsystems mit E-Call a Bikes. Neben der Bestimmung und Nachfragemodellierung optimaler Standorte für Pedelec-Ladestationen soll ein innovatives Pendlerkonzept zum gezielten Umstieg auf E-Bikes entwickelt werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die zurzeit interessantesten Entwicklungen im Bereich der Verkehrstechnik sind sicherlich Bike- und Carsharing Systeme, deren Nutzung und die damit verbundene verkehrliche Wirkung. Im Rahmen dieses Artikels wurden diese Systeme ausführlich vorgestellt und vor allem die Wirkung bzw. der Einfluss von Elektrofahrrädern bzw. -fahrzeugen innerhalb der Systeme skizziert.

Sicherlich werden im Rahmen der Elektromobilität jede Menge weitere Verkehrs- und Mobilitätsdienste entstehen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass gerade die Verleihsysteme als erstes mit Elektrofahrzeugen (bzw. Elektrofahrrädern) ausgestattet werden. Dadurch kann der Kunde ohne finanzielles und technisches Risiko Elektrofahrzeuge testen und ausprobieren. Andererseits sind die Fahrzeuge auch sofort im Straßenbild sichtbar, aus Marketingsicht sicher auch interessant.

Literaturverzeichnis

- Bike-Sharing-Blog (BSB) (2012), online im Internet. URL: <http://bike-sharing.blogspot.de/2012/12/2012-bike-share-year-in-review.html> (Stand 12.09.2013).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012), *Innovative öffentliche Fahrradverleihsysteme. Modellprojekte am Start.* Berlin/Bonn.
- Bundesverband CarSharing e. V. (bcs) (2013), online im Internet. URL: www.carsharing.de.
- car2go Deutschland GmbH (2013), online im Internet. URL: <https://www.car2go.com> (Stand 12.09.2013).
- CitiBike New York (2013), online im Internet. URL: <http://citibikenyc.com/> (Stand: 12.09.2013).
- Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) (2010), *Fahrradverleihsysteme in Europa.* Forschung Radverkehr International S-3/2010.
- DriveNow GmbH & Co. KG (2013), online im Internet. URL: www.drive-now.com (Stand 12.09.2013).
- Earth Policy Institute (2013), online im Internet. URL: <http://earth-policy.org/> (Stand: 12.09.2013).
- Graf, A. (2013), „Car2Go und die Zukunft des CarSharings“, online im Internet. URL: www.kassenzone.de/2013/08/31/car2go-die-zukunft-des-carsharings/ (Stand 12.09.2013).
- Loose, W. (2004), *Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen & Verkehrstechnik, No. 114, Wirtschaftsverl. NW, Bremerhaven.*
- Maertins, C. (2006), *Die intermodalen Dienste der Bahn: Mehr Mobilität und weniger Verkehr? ; Wirkungen und Potenziale neuer Verkehrsdienstleistungen, Discussion papers / Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), 2006-101, WZB, Berlin.*
- Martin, E. und Shaheen, S. (2011), „Greenhouse Gas Emission Impacts of Carsharing in North America“, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Band 12 No. 4, S. 1074–1086.*
- Martin, E., Shaheen, S. und Lidicker, J. (2010), „Impact of Carsharing on Household Vehicle Holdings“, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Band 2143 No. 1, pp. 150–158.*
- Raumkom, Institut für Raumentwicklung und Kommunikation (2011), *Statusanalyse Fahrradverleihsysteme. Potenziale und Zukunft kommunaler und regionaler Fahrradverleihsysteme in Deutschland.* Trier.
- Schmöller, S. und Bogenberger, K. (2013), „Analyzing External Factors on the Spatial and Temporal Demand of Car Sharing Systems“, *EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation.*
- Schwieger, B. (2011), *Second Generation Car-Sharing: Developing a new mobility services target groups and service characteristics, Südwestdt. Verl. für Hochschulschriften, Saarbrücken.*
- Transport for London (TFL) (2013), *London entdecken mit Barclays Cycle Hire.* Ausgabe 2013/14.
- Wilke, G. (2007), *Zukunft des Car-Sharing in Deutschland: Schlussbericht ; Laufzeit: 01.01.2003 - 30.06.2006, Wuppertal.*

Nachhaltigkeit in der Umsetzung – wie sich Wissenschaft und Praxis ergänzen können

Dr.-Ing. Jürgen Bülesbach

*Bayerische Hausbau
Vorsitzender der Geschäftsführung*

Nach seinem Studium an der Universität der Bundeswehr München und der anschließenden Promotion war Dr.-Ing. Jürgen Bülesbach von 1998 bis 2004 für die zur Bayerischen Bau und Immobilien GmbH & Co. KG gehörige Bayerische Hausbau GmbH tätig, zuletzt als Leiter Technik. 2004 wechselte er in die Geschäftsführung der ALBA BauProjektManagement GmbH, als deren Sprecher er seit März 2008 fungierte.

Seit März 2009 ist Dr.-Ing. Jürgen Bülesbach Vorsitzender der Geschäftsführung der Bayerischen Hausbau GmbH & Co. KG. Zugleich vertritt Dr. Jürgen Bülesbach den Unternehmensbereich Bauen & Immobilien im Vorstand der Schörghuber Stiftung & Co. Holding KG.

E-Mail: Ju.Buellesbach@hausbau.de

Über die Bayerische Hausbau

Die Bayerische Hausbau ist eines der größten integrierten Immobilienunternehmen in Deutschland. Mit einem Immobilienportfolio im Wert von rund 2,1 Milliarden Euro nimmt sie nicht zuletzt in ihrem Stammmarkt München eine Spitzenposition ein. Rund 600 Mitarbeiter tragen zu diesem Erfolg bei. Die Bayerische Hausbau bündelt die Bau- und Immobilienaktivitäten der Schörghuber Unternehmensgruppe. Das Leistungsspektrum umfasst die drei Geschäftsfelder Projektentwicklung, Immobilien und Immobilien Management. Dazu gehören klassische Bauträgeraktivitäten, professionelles Asset- und Portfoliomanagement sowie Property Management. Die Tochtergesellschaft Hanse Haus rundet mit dem Fertighausbau die umfassende Bau- und Immobilienkompetenz ab. Die Bayerische Hausbau ist Teil der Schörghuber Unternehmensgruppe.



Die zur Schörghuber Unternehmensgruppe gehörende Bayerische Hausbau ist mit ihren markanten Gebäuden, die sich durch eine maßgeschneiderte Architektur, hohe Bauqualität und erstklassige Lagen auszeichnen, einer der Hauptakteure am Münchener Immobilienmarkt. Das erklärte Ziel der Bayerischen Hausbau ist es, ihre Projekte als nachhaltige Gebäude zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben.

Damit behagliche Immobilien mit hohem Anspruch an Langlebigkeit, Qualität und Umweltverträglichkeit mit und ohne die Unterstützung durch Nachhaltigkeits-Zertifizierungssysteme erreicht werden können, ist es unabdingbar, auch die Managementprozesse eines Immobilienunternehmens – auf strategischer wie operativer Ebene – auf die Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung auszurichten.

Doch wie funktioniert die praktische Umsetzung? Wer liefert den notwendigen fachlichen Input? Welchen Beitrag kann die Wissenschaft für die Praxis leisten?

Zweifellos ist nachhaltige Entwicklung sowohl in der wissenschaftlichen Diskussion als auch in der Praxis ein hoch aktuelles Thema. Nachhaltig zu bauen hat bei der Bayerischen Hausbau seit jeher Tradition, auch wenn die Dokumentation dessen erst in den letzten Jahren für den Kunden an Bedeutung gewonnen hat. Für Dr. Jürgen Büllesbach, Vorsitzender der Geschäftsführung der Bayerischen Hausbau, war bereits im Jahr 2009 eine „zertifiziert“-nachhaltige Bauweise ein wichtiger Faktor bei der Vermarktung von Immobilien. Denn für viele Unternehmen, insbesondere internationale Konzerne, gehört ein ausgewiesenes Nachhaltigkeitszertifikat bei angemieteten Immobilien inzwischen zur Firmenpolitik und gewinnt auch im Rahmen der Corporate Social Responsibility zunehmend an Bedeutung. Diese Anforderungen auf Kundenseite waren für die Bayerische Hausbau der Auslöser, sich im Unternehmen verstärkt mit der

Dokumentation und Zertifizierung der Nachhaltigkeit der Immobilie zu beschäftigen sowie Forschungsarbeit auf dem Gebiet der nachhaltigen Immobilienökonomie zu betreiben.

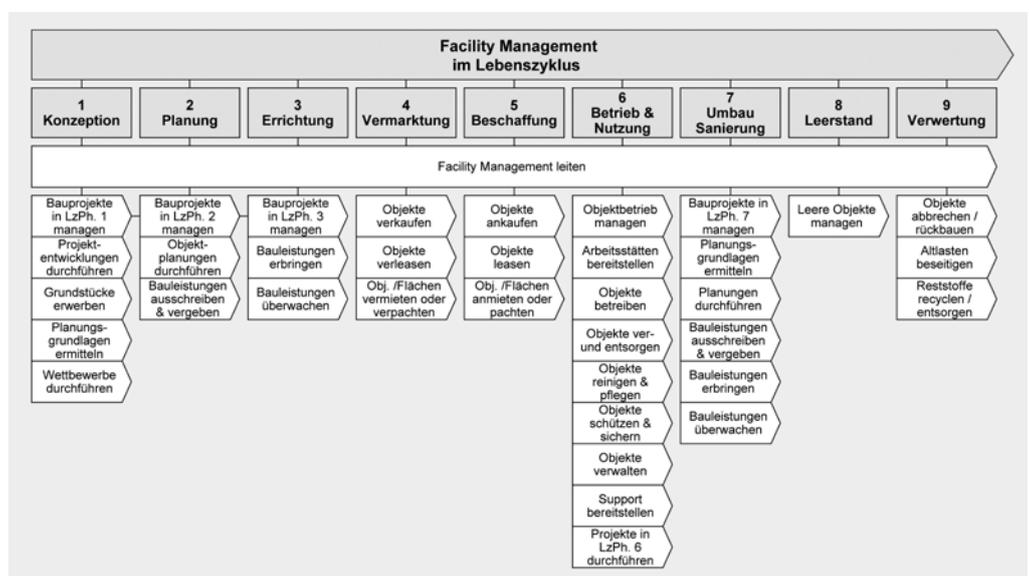
Aus dieser Fragestellung heraus setzt sich seit April 2010 begleitend und zur wissenschaftlichen Untermauerung das Institut für Baubetrieb der Universität der Bundeswehr München in einem Forschungsprojekt mit diesem Thema auseinander. Durch von der Bayerischen Hausbau zur Verfügung gestellte finanzielle Mittel werden im Rahmen einer engen Zusammenarbeit einerseits für die Universität der Bundeswehr München (UniBwM) Rahmenbedingungen geschaffen, sich wissenschaftlich vertieft mit dem Themenkomplex der nachhaltigen Entwicklung auseinanderzusetzen. Auf der anderen Seite bekommt die Bayerische Hausbau Werkzeuge für die praktische Anwendung geliefert. Die als Produkt zur Verfügung gestellten, wissenschaftlich begleiteten Werkzeuge unterstützen dabei das praxisbezogene Tagesgeschäft und sparen auf Unternehmensseite Kosten, da vorhandene Ressourcen anderweitig eingesetzt werden können.

Nachhaltigkeit in der Umsetzung

Für die Umsetzung des Oberziels Nachhaltigkeit in den Planungs- und Bauprozessen und für deren Bewertung ist die Einhaltung bestimmter Anforderungen und Standards von der Idee über die Realisierung des Bauwerks bis zu dessen Verwertung zwingend notwendig. Dafür ist es nötig, den Lebenszyklus einer Immobilie in den Mittelpunkt der neuen nachhaltigen Prozesse zu stellen, um die Nachhaltigkeitsziele ganzheitlich in den jeweiligen Entwicklungs- und Bauprozess integrieren zu können.

Durch die Implementierung des Oberziels Nachhaltigkeit in bestehende Abläufe wird sukzessive ein nachhaltiger Managementprozess geschaffen. Ein nachhaltiger Managementprozess wiederum „automatisiert“ diese Zielerreichung in neu begon-

Abbildung 1
Lebenszyklus einer Immobilie
(GEFMA [2004]:
Richtlinien 100-1:
Facility Management –
Grundlagen)



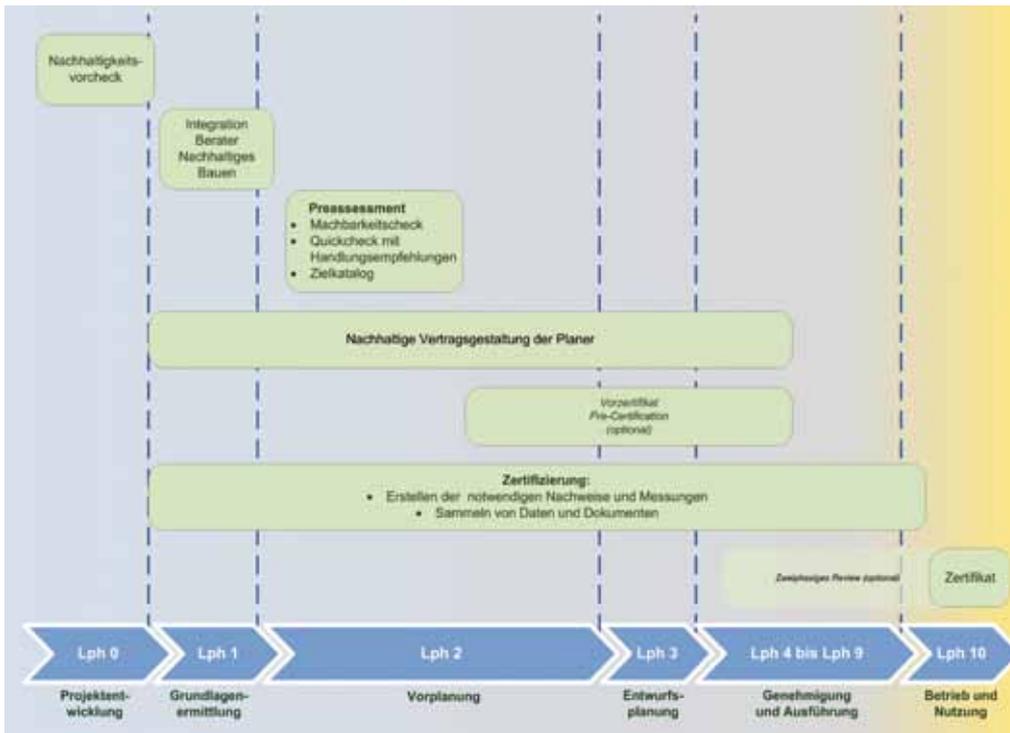


Abbildung 2
Der Nachhaltigkeits- und
Zertifizierungsprozess

nenen Projekten. Dabei verbessert die damit verbundene Nachhaltigkeitsimplementierung die vorhandenen Prozessqualitäten, welche für ein Immobilienunternehmen ein wichtiger Baustein für einen langfristigen Unternehmenserfolg sind.

Nachhaltigkeitshandbuch

Gemeinsam haben Wissenschaft (UniBwM) und Praxis (Bayerische Hausbau) zur Optimierung der vorhandenen operativen und strategischen Prozesse bei der Entwicklung, beim Bau und beim Betrieb von nachhaltigen Immobilien ein Nachhaltigkeitshandbuch entwickelt. Anhand der in diesem Handbuch zur Verfügung gestellten Hilfsmittel soll es den Prozessbeteiligten ermöglicht werden, mit kalkulierbarem personellen und finanziellen Aufwand die vorgegebenen Ziele zu erreichen. Unter diesen Voraussetzungen wurden die dem Nachhaltigkeitsprozess zu Grunde liegenden Hilfsmittel bzw. -instrumente einfach und handhabbar gestaltet.

Um eine nachhaltige Immobilie zu errichten und ein nachvollziehbares Ergebnis für die Nachhaltigkeit im Unternehmen der Bayerischen Hausbau zu garantieren, ist mit dem Nachhaltigkeitshandbuch ein Leitfaden für eine optimale Integration der Nachhaltigkeit durch einen ganzheitlichen und nachhaltigen Prozess geschaffen worden. Das Nachhaltigkeitshandbuch dient als Leitfaden zur Begleitung und Unterstützung des Projektleiters bei der Umsetzung der Nachhaltigkeit in einem Immobilienprojekt (Neubau oder Bestand).

Nachhaltigkeit beim Neubau mit Zertifizierung ist im Handbuch umfassend beschrieben, sodass zu jeder Phase der Projektleiter die Werkzeuge erhält, um den Prozess zu initiieren und zu steuern. Dabei wird der Projektleiter durch den gesamten Prozess geführt. Der gesamte Ablauf sowie die einzelnen Werkzeuge sind zügig recherchierbar und an den geeigneten Stellen untereinander verlinkt.

Bereits mit der ersten Projektidee wird das Ziel der Nachhaltigkeit definiert. Ein von der entwickeltes Programm für den „Vorcheck“ klärt die Möglichkeiten und die zu erwartende Stufe der Zertifizierung. Der Vorcheck ist so aufgebaut, dass der Projektleiter mit geringem zeitlichen Aufwand die Fragen zu den relevanten Themen wie Projekt, Vermarktung und Bauwerksperformance beantworten kann. Die Fragen werden durch das Programm spezifisch bezogen auf die Nachhaltigkeit ausgewertet. Daraus folgt eine Zertifizierungsempfehlung nach System und Zertifizierungsstufe. Auf Basis der bisherigen Erfahrung der von der Universität der Bundeswehr München ausgewerteten Projekte der Bayerischen Hausbau werden die erwarteten Zertifizierungskosten ebenfalls angegeben.

Nachhaltigkeit im Bestand

Neben der Optimierung von Neubauprojekten unter nachhaltigen Gesichtspunkten gehört auch die gezielte Weiterentwicklung und Optimierung von Bestandsgebäuden zur gemeinsamen Aufgabenstellung der Zusammenarbeit zwischen der Bayerischen

Hausbau und der Universität der Bundeswehr München. Auch hier werden durch die Ergänzung von Wissenschaft und Praxis im Rahmen des Forschungsprojekts Lösungsansätze und Werkzeuge entwickelt, deren Ziel es ist, für einzelne Bestandsgebäude eine nachhaltige Entwicklungsperspektive aufzuzeigen. Dazu wird ein Verfahren entwickelt, welches einerseits eine Aussage zur Nachhaltigkeit von Bestandsgebäuden im Ist-Zustand ermöglicht und andererseits Handlungsfelder zur Verbesserung der Nachhaltigkeit aufzeigt.

Das Ziel ist hierbei die frühzeitige Einsatzmöglichkeit des Verfahrens ohne Planungsaufwand und ohne komplexe Messungen, Berechnungen oder Zertifizierungen. Dadurch wird der Aufwand innerhalb routinemäßiger Untersuchungen im Zuge einer jährlichen Unternehmensplanung abbildbar.

Auf Basis umfangreicher Untersuchungen und Auswertungen bestehender Bewertungssysteme zur Nachhaltigkeit von Immobilien wurde ein Verfahren entwickelt, das integrale Ansätze aus einer Kombination von Nachhaltigkeitsfunktionen und Gebäudemerkmalen nutzt. Damit wird es für den Anwender möglich, eine wissenschaftlich fundierte Bewertung der Nachhaltigkeit über (zumeist qualitative) Gebäudemerkmale abzuleiten. Das ermöglicht die praxisgerechte Anwendung mit geringem Zeitaufwand. Zudem sind für die Einordnung und Beurteilung der ausgewählten Gebäudemerkmale keine speziellen wissenschaftlichen Fachkenntnisse erforderlich.

Für eine anwenderfreundliche Handhabung wurde auf der Grundlage des Verfahrens ein webbasiertes Analysetool „Vorcheck Nachhaltigkeit im Bestand“ entwickelt und im Nachhaltigkeitshandbuch integriert. Der Anwender des Vorchecks wird vom Programm zu den für sein Objekt relevanten Fragen geführt, indem er Antwortmöglichkeiten zur Gestaltung, Konstruktion und zu den technischen Anlagen bezogen auf die Nachhaltigkeit auswählt. Mit der Selektion der Antworten erfolgt simultan die Bewertung der Nachhaltigkeit. Das Bewertungsverfahren basiert auf wissenschaftlich abgeleiteten Bewertungsmaßstäben und Gewichtunganteilen für alle identifizierten Zielfelder zum nachhaltigen Bauen.

Zertifizierungsprozess ohne Zertifizierung

Mit den nachhaltigen Unternehmensprozessen wird auch das Ziel beim Produkt Immobilie reglementiert. Hiernach ist ein „automatisch“ eine Zertifizierung ermöglichender Planungs- und Bauprozess, ohne zwingend eine Zertifizierung durchzuführen, das Ziel der Bayerischen Hausbau. Schon heute entwickelt, plant und baut die Bayerische Hausbau ihre Projekte nach nachhaltigen Maßstäben. Durch die Einhaltung des in Zusammenarbeit mit der Universität der Bundeswehr München entstandenen Zertifizierungsprozesses wird ein Zertifikat für ein Gebäude nicht automatisch erforderlich.

Fazit

Im Rahmen des Forschungsvorhabens mit der Universität der Bundeswehr München sind Projekte der Bayerischen Hausbau zunächst in Bezug auf die Prozessabläufe, die Zertifizierungskosten und deren Optimierung untersucht und analysiert worden. Im Anschluss erfolgte die Entwicklung eines Nachhaltigkeitsprozesses verbunden mit angegliederten instrumentalisierten Hilfsmitteln zu dessen Einhaltung und Dokumentation. Die aktuellen Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigen, dass sich durch eine enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis hervorragende Resultate erzielen lassen, von denen beide Seiten profitieren können.

Es hängt vor allem vom jeweiligen Objekt ab, ob das Siegel einer Zertifizierung wirklich notwendig ist. Grundsätzlich ist eine Zertifizierung derzeit in den meisten Fällen durchaus sinnvoll, da sich die entsprechenden Baumerkmale noch nicht als Standard in der Immobilienwirtschaft etabliert haben und ein Zertifikat bei der Vermarktung des Gebäudes für mehr Transparenz und damit auch einen Mehrwert sorgt. Doch ein Zertifikat für sich allein ist nicht nachhaltig. Es entstehen Kosten durch Mehr- und Kontrollaufwand. Letztendlich spielen bei der Bayerischen Hausbau die Kriterien der Nachhaltigkeit bei allen künftigen Projekten eine wichtige Rolle. Denn nachhaltige Immobilien sind langfristig die Gewinner am Immobilienmarkt, und ein Investment in Nachhaltigkeit ist somit ein Investment in die Zukunft.

Literaturverzeichnis

– GEFMA [2004]: *Richtlinien 100-1: Facility Management - Grundlagen*, Herausgeber: German Facility Management Association (GEFMA), Bonn, 07/2004, S. 7.

Innovative Fassaden als Beitrag für nachhaltige Gebäude



Prof. Dr.-Ing. Geralt Siebert

Geralt Siebert ist 1966 geboren. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens und anschließender Promotion an der TU München selbständige Tätigkeit als Beratender Ingenieur im eigenen Ingenieurbüro. Seit 2003 hat er an der Universität der Bundeswehr München im Institut für Konstruktiven Ingenieurbau die Professur für Baukonstruktion und Bauphysik inne. Lehr- und Forschungsgebiete sind neben den Grundlagen der Baukonstruktion und Bauphysik insbesondere das Bauen mit Glas und die Fassadentechnik, das Bauen im Bestand sowie das Bauen in anderen Kulturräumen und Klimazonen.

E-Mail: geralt.siebert@unibw.de

Zusammenfassung

Einen nicht unerheblichen Beitrag zur Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen kann die energetische Sanierung des Gebäudebestandes in Deutschland leisten. Insbesondere für Bürogebäude bietet die Anwendung von innovativen Doppelfassaden ein erhebliches Potenzial nicht nur für die energetische Ertüchtigung, sondern gleichzeitig zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen. Beispiele für eine solche erfolgreiche Anwendung im Neubau ist in München das Hochhaus „Münchner Tor“. Die Herausforderung, dies Prinzip bei einer Sanierung zu realisieren, wird am Beispiel des Hochhauses der Sparkasse in Rosenheim gezeigt: mit völlig neuer Fassade präsentiert sich das Gebäude aus den 60er Jahren gestalterisch und energetisch modern. Das Beispiel HVB-Tower zeigt, dass sich auch bei einem als Denkmal klassifizierten Gebäude mit der Notwendigkeit des unveränderten Erscheinungsbildes die Prinzipien ebenfalls vorteilhaft anwenden lassen. Als innovative Fassaden sind Doppelfassaden prädestiniert, den Gebäudebestand im Sinne der Nachhaltigkeit effektiv zu ertüchtigen.

Einleitung

Abhängig von der Witterung des jeweiligen Jahres werden gut ein Viertel bis knapp ein Drittel des Endenergieverbrauchs in Deutschland allein für Raumwärme – d. h. Heizung der Wohn-

und Geschäftsräume – aufgewendet. Die Summe der für Raumwärme in den beiden Sektoren Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) und Haushalte aufgewendeten Endenergie ist damit in ähnlicher Größenordnung wie die im Sektor Verkehr insgesamt eingesetzte Endenergiemenge, vgl. Tabelle 1. Daraus wird unmittelbar deutlich, welches erhebliche Potenzial im Bereich der energieeffizienten Gestaltung (i.S.v. Entwurf, Konstruktion und Ausführung) der Gebäudehülle zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und der Entschleunigung des damit verbundenen Klimawandels vorhanden ist.

Mit der zunehmenden Verschärfung der diesbezüglichen Anforderungen und damit der Absenkung des Endenergiebedarfs für die Beheizung von neu errichteten Gebäuden seit 1978 durch zunächst Wärmeschutzverordnungen (WSchV 1977, 1982, 1995) bzw. aktuell Energieeinsparverordnungen (EnEV 2007, 2009, 2014) bietet insbesondere der ältere Gebäudebestand ein höheres Potenzial zur Einsparung von Energie.

Im Rahmen dieses Beitrags soll die konstruktive Umsetzung von energetischen Sanierungen der Hülle bestehender Gebäude betrachtet werden; dabei ist das Augenmerk insbesondere gerichtet auf die Interaktion mit anderen, zum Teil konkurrierenden baukonstruktiven und bauphysikalischen Anforderungen sowie die Herausforderungen, den nach anderen Standards errichteten Bestand einzubinden.

Tabelle 1

Endenergieverbrauch nach Sektoren und Anwendungsbereichen in Petajoule und Prozent für 2010 und 2011, nach [AGEB, 2013]

	Wärmeanwendungen				Kälteanwendungen			Mechanische Energie	IKT	Beleuchtung	Summe EEV	Prozent
	Raumwärme	Warmwasser	sonst. Prozesswärme	gesamt	Klimakälte	sonst. Prozesskälte	gesamt					
2010												
Industrie	198,2	22,9	1704,7	1925,7	17	18	34,9	561,2	32,3	38,1	2592,2	27,8%
GHD	717,1	75	111,2	903,3	14,3	37	51,3	222,3	83,2	222,4	1482,5	15,9%
Haushalte	1900,3	373,5	143,9	2417,7	0	106	106	15,3	90,5	46,3	2675,9	28,7%
Verkehr	13,1	0	0	13,1	2,6	0	2,6	2520,4	10,5	12,8	2559,3	27,5%
GESAMT	2828,6	471,4	1959,8	5259,7	33,8	161,1	194,9	3319,1	216,5	319,6	9309,9	100,0%
Prozent	30,4%	5,1%	21,1%	56,5%	0,4%	1,7%	2,1%	35,7%	2,3%	3,4%	100,0%	
2011												
Industrie	207,3	23,9	1729,7	1960,8	16,8	17,9	34,7	558,7	33,7	35,9	2623,9	30,0%
GHD	591,6	74,6	104,5	770,7	14,4	37,8	52,3	222	84,2	225,7	1354,8	15,5%
Haushalte	1444	348,4	144,8	1937,2	0	106,2	106,2	14,1	90,2	46,4	2194,1	25,1%
Verkehr	13,1	0	0	13,1	2,6	0	2,6	2532,5	10,5	12,9	2571,6	29,4%
GESAMT	2256	446,8	1979	4681,8	33,8	162	195,8	3327,4	218,6	320,9	8744,4	100,0%
Prozent	25,8%	5,1%	22,6%	53,5%	0,4%	1,9%	2,2%	38,1%	2,5%	3,7%	100,0%	

1. Möglichkeiten für die Dämmung von Fassaden

Klassischerweise werden zur Verbesserung der Dämmwirkung von Fassaden neben neuen Fenstern oder Verglasungen in den opaken Bereichen außenseitig zusätzliche Schichten aus wärmedämmendem Material (häufig fälschlicherweise bezeichnet als „Isolierung“) aufgebracht. Als Materialien kommen dabei synthetische anorganische (beispielsweise Mineralwolle oder -schaum), synthetische organische (beispielsweise Schäume aus PS, EPS, XPS, PUR), synthetische Verbundmaterialien (VIP) sowie natürliche organische Materialien (beispielsweise Holzfasern) zur Anwendung. So kann der U-Wert (früher k-Wert) der einzelnen Bauteile und damit der rechnerische Wärmedurchgang vom beheizten Innenraum zur kälteren Umgebung reduziert werden, mit der Folge eines geringeren Heizenergiebedarfs. Je nach Dämmstandard werden für Gebäude spezielle Bezeichnungen wie Niedrigenergiehaus, KfW-Effizienzhaus 70 (benötigt maximal 70 Prozent des EnEV Standards), Plusenergiehaus (Gebäude gewinnt mehr Energie als verbraucht wird beispielsweise durch die zusätzliche Nutzung solarer Energie in Form von Solarthermie oder Photovoltaik), Effizienzhaus Plus etc. verwendet. Bei Vergleichen ist wichtig zu unterscheiden, ob sich die jeweiligen Angaben auf Heizwärmebedarf, Primärenergiebedarf oder Endenergiebedarf beziehen sowie ob beispielsweise Energie für Warmwasserbereitung, Kühlung oder Lüftung enthalten ist. So dominiert beispielsweise bei einem sogenannten Passivhaus nicht mehr die Heizung, sondern die Lüftungsanlage und deren Steuerung mit der Konsequenz, dass die Umweltbilanz schlechter ausfallen kann, als es die niedrigen Heizwärmeenergiebedarfswerte erwarten lassen.

Neben dem Streben nach minimalen Wärmedurchgangswerten („U-Wert-Olympiade“) dürfen weitere Fragestellungen wie Brandschutz, Feuchteschutz (damit verbunden Nährboden für

biologisches Leben in Form von Algen oder Schimmel), Schallschutz oder Dauerhaftigkeit und damit die Kosteneffizienz und CO₂-Bilanz einer Dämmmaßnahme keinesfalls außer Acht gelassen werden.

Insbesondere bei Bürogebäuden ist bekannt, dass für die wirtschaftliche Nutzung eines Gebäudes nicht nur die Heizkosten, sondern auch Lüftung, ggf. Klimatisierung, Beleuchtung sowie die Effizienz der in den Räumen Arbeitenden eine Rolle spielen.

Tageslicht an allen Büroarbeitsplätzen zu ermöglichen bedingt entsprechend Grundrissformen, wodurch sich eine andere Architektur als beispielsweise in den USA oder im arabischen Raum ergibt.

Als Alternative zu durch Dämmung oder Austausch von Verglasung ertüchtigten Außenwänden können insbesondere bei Bürogebäuden sogenannte Doppelfassaden zum Einsatz kommen.

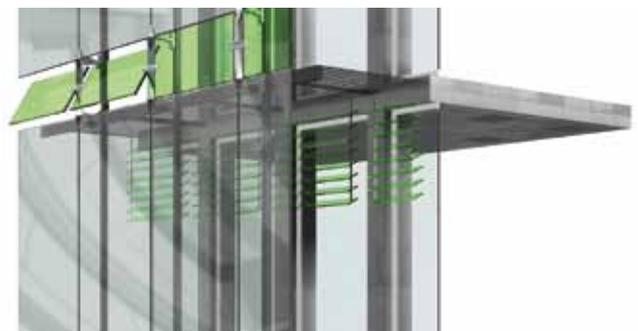


Abbildung 1
Prinzipdarstellung Doppelfassade

Dabei besteht die Fassade aus zwei Hüllen, die in einem definierten Abstand zueinander angeordnet sind. Die äußere Fassade weist Lüftungsöffnungen oder -klappen auf, dient als thermischer Puffer und schützt vor Schall sowie Witterung. Die natürliche Belüftung mittels i.d.R. jederzeit zu öffnenden Fenstern in der inneren Hülle reduziert die Aufwendungen für Klimatisierung und Haustechnik: häufig kommen kleine, dezentrale, auch individuell steuerbare Anlagen zum Einsatz.

Im Folgenden wird näher auf die sich in der konstruktiven Realisierung von Doppelfassaden im Zuge der energetischen Erhöhung von Bestandsgebäuden ergebenden Fragestellungen eingegangen.

2. Glasdoppelfassade zur Sanierung Hochhaus Sparkasse Rosenheim

Das in Stahlbetonbauweise im Jahr 1967 im Stadtzentrum errichtete Hochhaus der Sparkasse Rosenheim war auf dem energetisch-technischen Stand und Stil der damaligen Zeit: Fensterbänder und Betonbrüstung geben dem 40 m hohen Gebäude eine horizontale Struktur. Als Lösung der umfangreichen Untersuchungen im Vorfeld der nötigen energetischen Sanierung ergab sich schließlich – auch unter Beachtung der städtebaulichen und architektonischen Aspekte – als Bauaufgabe eine Doppelfassade. Dazu wurden zunächst die Betonbrüstungen der bestehenden Gebäudehülle abgebrochen und durch eine moderne, holzverkleidete Lochfassade mit vorgesetzter transparenter Glashülle ersetzt. Dadurch konnte der Primärenergieverbrauch von vormals 400 kWh/(m²a) auf ein Viertel zu 100 kWh/(m²a) herabgesetzt werden und damit die Anforderungen der EnEV erfüllen.



Abbildung 2
Alte Fassade mit Fensterband und Stahlbetonbrüstung sowie rückgebaute Bereiche

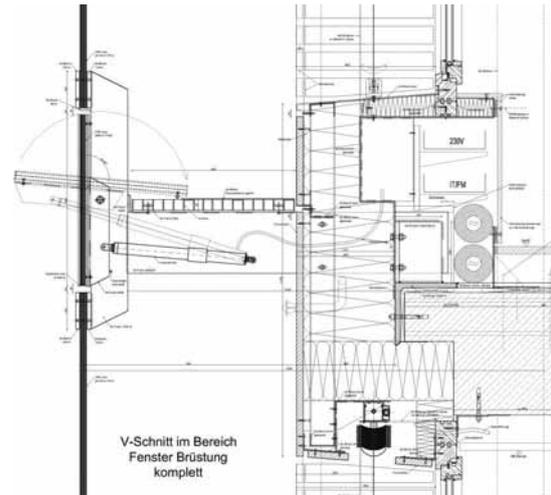


Abbildung 3
Schnittzeichnung neue Fassade

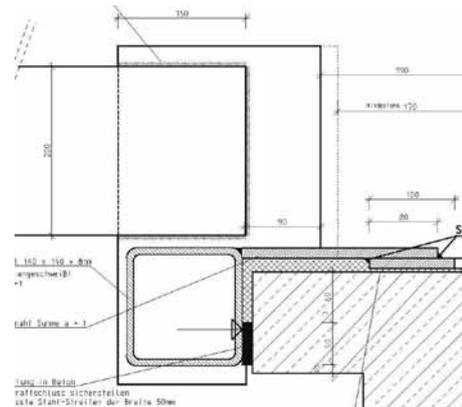
Die aus Sicht der Baukonstruktion bzw. des konstruktiven Glasbaus interessanten Fragestellungen ergeben sich insbesondere im Zusammenhang mit der transparenten äußeren Hülle:

- Der Zwischenraum zwischen äußerer Glashülle und innerer Fassade ist betretbar, sodass die nur punktförmig durch Klemmhalter gelagerten 2,5 x 2,5 m² bzw. in der neuen 11. Etage 4,5 m hohen Glaselemente wegen des fehlenden Geländers eine absturzsichernde Funktion ausweisen. Im Labor des Instituts für konstruktiven Ingenieurbau konnte dies mittels Pendelschlagversuchen auf Basis der seinerzeit noch als Beratungsentwurfs vorliegenden DIN 18008-4 nachgewiesen werden: Wegen des fehlenden Handlaufs in Kategorie A eingeordnet, musste die Verglasung eine Fallhöhe von 900 mm widerstehen. Nach einem Aufprall des Pendels im Eckbereich brachen zwar beide Scheiben des Verbundsicherheitsglases (VSG), ein Durchstoßen sowie Abgang von Glasbruchstücken gefährlicher Größe konnte jedoch nicht festgestellt werden, sodass die Bauteilversuche dennoch bestanden wurden.

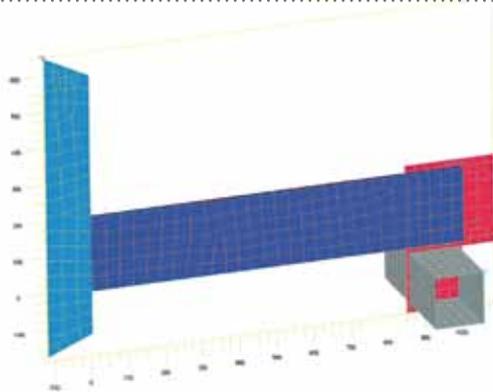


Abbildung 4
Pendelschlagversuch

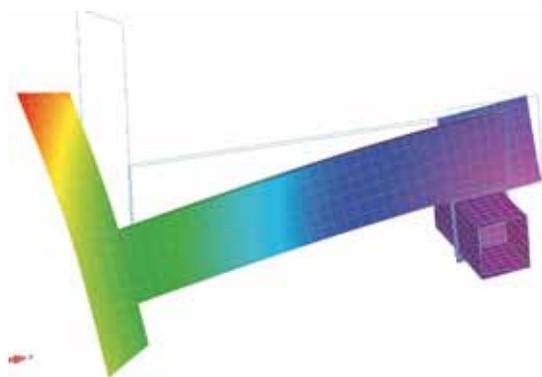
- Um die Glaselemente in minimaler Dicke ausführen zu können (VSG aus 2 x 10 mm Teilvorgespanntes Glas (TVG) in den Regelbereichen, 2 x 12 mm TVG in den Eckbereichen), musste der Schubverbund zwischen den Gläsern angesetzt werden – was die Verwendung einer speziellen Zwischenfolie mit entsprechenden Nachweisen erforderlich machte.
- Neben der Belüftung dienen die Klappen mit den Regelabmessungen von 1,25 m Breite und 0,55 m Höhe in Zusammenspiel mit den bereichsweise abgedeckten Wartungsrosten im Zwischenraum als Rauchschott im Brandfall. Die Klappen sind auf den kurzen Seiten linienförmig durch Klebung gelagert und werden im geöffneten Fall zu einer Überkopfverglasung – eine von den aktuellen Bauvorschriften nicht abgedeckte Bauart mit dem Erfordernis entsprechender Resttragfähigkeitsversuche.



Abbildungen 5 oben und unten
Resttragfähigkeitsversuche



- An Stelle der abgesägten Stahlbetonbrüstung war an die verbleibende Stahlbetondecke geringer Dicke und Güte eine auskragende – und entsprechend den Anforderungen an die Gestaltung schlanke – Stahlkonstruktion zur Aufnahme des Wartungssteiges sowie der Fassadenscheiben anzuschließen. Nachdem die entwickelte Konstruktion und die Randbedingungen für die Einleitung der Beanspruchungen in die Stahlbetondecke außerhalb der Grenzen üblicher Nachweise lag, mussten die zunächst in einem räumlichen FE-Rechenmodell ermittelten Verformungen durch entsprechende Probelastung versuchstechnisch auf der Baustelle bestätigt werden. Hier konnte leider nicht die im Labor des Instituts üblicherweise zur Verfügung stehende Ausstattung zur Verwendung kommen; eine Beschränkung auf mobil einsetzbare Ausstattung war nötig.



Abbildungen 6 a - d
Lasteinleitung Betondecke

Die Abbildungen 7 links und rechts ermöglichen den Vergleich zwischen der alten und neuen Gestaltung der Fassade.



Abbildungen 7 links und rechts
Hochhaus Sparkasse Rosenheim vor und nach der Sanierung

Einen besseren Eindruck des Zusammenspiels von innerer Holzfassade und schützender Glashülle geben die Abbildungen 8. Rechts sind deutlich die größeren Abmessungen der Fenster wie auch Glashülle im aufgestockten 11. Obergeschoss zu erkennen. Die darunterliegenden Geschosse lassen die Struktur des Fensterbandes der ursprünglichen Fassade aus den 60er Jahren erahnen.



Abbildungen 8 links und rechts
Holzfassade und Glashülle
des Hochhauses Sparkasse
Rosenheim

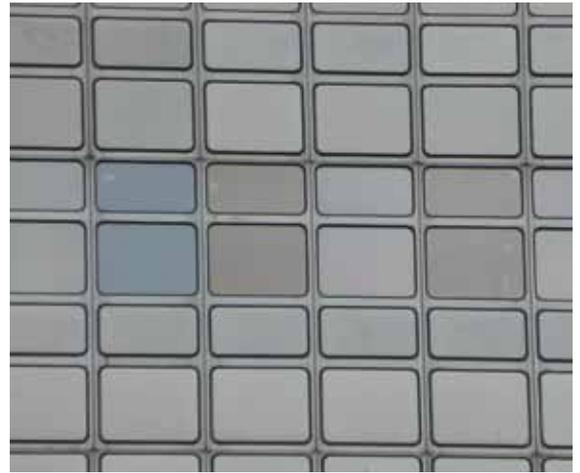
3. Sanierung des denkmalgeschützten Hochhauses HVB-Tower München

Das im Jahr 1981 bezogene Hochhaus der HypoVereinsbank (HVB), im Münchner Osten am Mittleren Ring gelegen, ist seit 2006 denkmalgeschützt. Insofern ist die Aufgabenstellung einer energetischen Sanierung und die Erfüllung des Wunsches nach natürlicher Belüftung durch die Fenster ungleich der Vorgehensweise in Rosenheim zu lösen, eine komplett neue Fassadengestaltung verbietet sich hier. Im Gegenteil muss der optische Eindruck unbedingt erhalten bleiben.

Aus dem Blickwinkel der Baukonstruktion und Bauphysik sowie des konstruktiven Glasbaus ergeben sich dabei beispielsweise folgende interessante Fragestellungen:

- Die auf Gläser üblicherweise aufgebrachte sogenannte low-e-Beschichtung zur selektiven Filterung der Sonnenstrahlung ergibt je nach aufgebrachter Schichtenfolge einen unterschiedlichen Energiedurchgang sowie ein unterschiedliches optisches Erscheinungsbild. Seit der Produktion der ersten ursprünglichen Fassade sind weitgehende Fortentwicklungen auf dem Gebiet der low-e-coatings erfolgt – mit der Konsequenz, dass der originale Farbeffekt heute mit den geänderten Anforderungen bzgl. des Energiedurchgangs und den neuen Herstellungstechniken nur schwer erzielt werden kann.
- Im Bereich der Gebäudeecken kommen gebogene Verglasungen zur Anwendung, die dem Stand der Technik entsprechend als Dreischeiben-Isolierverglasung ausgeführt sind. Diese gebogenen Glaselemente sind in den aktuellen technischen Regelungen nicht erfasst. Eine Berechnung beispielsweise der sich aus dem abgeschlossenen Gasvolumen ergebenden Klimabelastungen für die gebogenen Isolierverglasungen und darauf die sich für die Gläser ergebenden Beanspruchungen ist quasi Neuland.

Abbildungen 9 links und rechts
Ansicht HVB-Tower und
Detail der Fassaden mit
unterschiedlicher Beschichtung



Fazit

Durch Doppelfassaden lässt sich nicht nur der Endenergiebedarf von Neubauten, sondern auch von ertüchtigten Gebäuden entsprechend senken. Dabei können gleichzeitig weitere Aspekte wie beispielsweise die Möglichkeit einer natürlichen Belüftung bei ausreichendem Schallschutz auch an vielbefahrenen Straßen mit positiven Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Nutzer berücksichtigt werden. Gemeinsam ist den beispielhaft und nur kurz betrachteten Gebäuden, dass Bauherr und Nutzer jeweils übereinstimmen, d. h. es handelt sich um eigengenutzte Gebäude,

bei denen die etwas höheren Investitionen für die Ausführung einer modernen Doppelfassade mit Mehrwert offenbar gerne getätigt werden. So können die vorgestellten Beispiele als Beleg gesehen werden für einen im Sinne der Nachhaltigkeit sinnvollen Umgang mit existierender Bausubstanz. Weiteres Potenzial für die optimale Nutzung der eingesetzten Energie bzw. eventuell eine weitere Reduktion des Endenergieverbrauchs wird gesehen bei einer noch ganzheitlicheren und vernetzten Betrachtung des Systems Baukonstruktion und Bauphysik, Haustechnik und Bauausführung.

Literaturverzeichnis

- AGEB 2013: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2010 und 2011, Studie beauftragt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Projektnummer: 23/11, Berlin, März 2013.
- DIN 18008-4: 2013-07: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 4: Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen.
- Maniatis, I.; Siebert, B: Transparente Fassaden bei Neubau und Sanierung von Gebäuden. In Stahlbau Sonderheft Glasbau April 2012, Ernst & Sohn Verlag Berlin.
- Siebert, G., Maniatis, I.: Tragende Bauteile aus Glas – Grundlagen, Konstruktion, Bemessung, Beispiele. 2. erw. Auflage 2012, Ernst & Sohn Verlag Berlin. www.hvb-tower.de

Ökologisch und technisch verbesserte Betone durch den Einsatz alternativer Zusatzstoffe



Prof. Dr.-Ing. Karl-Christian Thienel

Prof. Dr.-Ing. Karl-Christian Thienel war nach dem Bauingenieurstudium an der TU Braunschweig von 1988-1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig. Von 1993-1995 forschte er als Feodor-Lynen-Stipendiat der Alexander-von-Humboldt Stiftung am Center for Advanced Cement Based Materials (ACBM) der Northwestern University, USA. 1995-2003 arbeitete er bei der Liapor GmbH & Co. KG und war ab 1997 Leiter F&E der Liapor GmbH & Co. KG. Seit 2003 leitet er als Universitätsprofessor das Institut für Werkstoff des Bauwesens der Universität der Bundeswehr München

E-Mail: christian.thienel@unibw.de



Dipl.-Ing. Nancy Beuntner

Dipl.-Ing. Nancy Beuntner studierte an der Bauhaus Universität Weimar Bauingenieurwesen mit dem Fokus auf Baustofftechnologie. Von 2002-2008 war sie Produktmanagerin und Vertriebsingenieurin der Rohrdorfer Baustoffgruppe. Seit 2009 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin des Instituts für Werkstoffe des Bauwesens der Universität der Bundeswehr München und hat dort im Oktober 2013 die Position der wissenschaftlichen Laborleiterin übernommen.

E-Mail: nancy.beuntner@unibw.de

Zusammenfassung

Ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Beton ist die ökologische Optimierung des Bindemittels. Dieses Ziel wird weltweit unter anderem durch die Minderung des Klinkeranteils im Zement und den vermehrten Einsatz von Betonzusatzstoffen verfolgt. Der Vorrang der erneuerbaren Energien in Deutschland wirkt sich gravierend auf die Verfügbarkeit und Qualität eines der meist genutzten Betonzusatzstoffe – der Steinkohlenflugasche – aus. Das Institut für Werkstoffe des Bauwesens forscht seit mehreren Jahren an alternativen Betonzusatzstoffen, die in der Lage sind, als Bindemittelbestandteil oder Betonzusatzstoff für technisch und ökologisch optimierte Betone verwendet zu werden. Der Beitrag stellt vier potenzielle alternative Betonzusatzstoffe exemplarisch vor. Anhand aus-

gewählter Charakteristika wird gezeigt, dass diese Stoffe zum Teil sehr gut geeignet sind, um mechanische Kennwerte und die Dauerhaftigkeit von Beton zu verbessern und so nachhaltigere Betone herzustellen.

Einleitung

Beton ist weltweit der mit Abstand wichtigste Baustoff. Er setzt sich aus ca. 70 Vol.-% Gesteinskörnung, 20 Vol.-% Bindemittel, 10 Vol.-% Wasser und Zusatzmitteln zusammen. Die wichtigste Bindemittelkomponente ist nach wie vor Zement. Dieser bestimmt entscheidend die Energiebilanz und die CO₂-Emission des Baustoffs Beton [1]. Maßnahmen zur ökologischen und energetischen Optimierung des Betons greifen folglich am ehesten, wenn sie sich auf das Bindemittel konzentrieren.

In Deutschland wurden 2012 25,2 Mio. Tonnen Zement versandt [2]. Weltweit ist Zement mit einer Produktion von 2,5 Gigatonnen in 2005 und einem Anteil zwischen 5 Prozent und 8 Prozent eine wesentliche Quelle der globalen anthropogenen Freisetzung von Kohlendioxid [3]. Das freigesetzte CO₂ entstammt hauptsächlich den eingesetzten Brennstoffen im Drehrohrofen und der dort ablaufenden Entsäuerung des Kalksteins. Hinzu kommen Freisetzungen im Zuge der Logistikkette bis zum Verwender. Die Zementindustrie hat in den letzten Jahren große Anstrengungen unternommen, um insbesondere den Brennprozess zu optimieren und durch den Einsatz von Sekundärbrennstoffen möglichst CO₂-neutral zu gestalten [4]. Eine grundlegende und weitgehend konstante Quelle der CO₂-Freisetzung bleibt jedoch die Entsäuerung des Kalksteins im Zuge der Klinkerproduktion [4]. Inzwischen gibt es verschiedene Maßnahmen, diesen Prozess direkt zu umgehen [5, 6], doch finden die so hergestellten Zemente aus unterschiedlichen Gründen bisher keine breite Anwendung. Ein weiterer Ansatz zum Senken der CO₂-Emission pro Tonne Zement ist die Reduktion des Klinkeranteils. Seit mehreren Jahren wird dieses Ziel konsequent durch die Verlagerung der Produktion von CEM I- vornehmlich hin zu CEM II- und teilweise zu CEM III-Zementen verfolgt [2]. Als Hauptbestandteile werden für die CEM II-Zemente in Deutschland neben dem Klinker vor allem Hüttsand, Steinkohlenflugasche, Kalksteinmehl und gebrannter Ölschiefer eingesetzt [2]. Darüber hinaus laufen Untersuchungen, um den Anteil des Klinkers zugunsten eines erhöhten kombinierten Anteils an Steinkohlenflugasche und Hüttsand noch deutlich zu reduzieren [7].

Ein weiterer Ansatz zur ökologischen und ökonomischen Optimierung von Beton ist die teilweise Substitution von Zement in der Betonrezeptur durch puzzolanisch reaktive oder latent hydraulische Betonzusatzstoffe vom Typ II wie Steinkohlenflugasche, Hüttsand oder Silicastaub, die seit Jahren als marktüblich angesehen werden können. Den größten Anteil an den puzzolanischen Stoffen hat in Deutschland die Steinkohlenflugasche (3,2 Mio. Tonnen in 2010) [8], während der latent hydraulische Hüttsand (7,4 Mio. Tonnen in 2010) zu zwei Dritteln direkt im Zement eingesetzt [8] wird und ebenso wie Silicastaub als Betonzusatzstoff in Deutschland nur von untergeordneter Bedeutung ist.

In den nächsten Jahren wird sich die Situation durch den Vormarsch der erneuerbaren Energien drastisch verändern. Während das Aufkommen an Hüttsand abgesehen von konjunkturellen Einflüssen bis 2030 auf gleichem Niveau erwartet wird, wird für Steinkohlenflugasche im gleichen Zeitraum ein Rückgang auf ein Drittel prognostiziert [8]. Damit fehlt zukünftig – zumindest in Teilen – ein wesentliches Element zur ökologischen und ökonomischen Optimierung des Betons.

Neben den Auswirkungen auf die Quantität des Angebots an Steinkohlenflugasche wirkt sich der Vorrang der erneuerbaren Energien auf die Variabilität der Laufzeit der Steinkohlekraft-

werke aus [9] und beeinträchtigt die Qualität der anfallenden Aschen.

Alternative Betonzusatzstoffe

Stoffliche Alternativen für den Einsatz als Bestandteil des Bindemittels in Beton müssen sich durch mehrere Eigenschaften auszeichnen. Sie müssen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen, Vorteile für die Reduktion des CO₂-Ausstoßes bieten, puzzolanisch reaktiv sein, die Eigenschaften des Betons wie Festigkeit und Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigen und sollten darüber hinaus natürlich noch ökonomisch möglichst attraktiv sein. Sie können zum Teil direkt als Hauptbestandteil des Zements dienen oder als Betonzusatzstoff eingesetzt werden. Nachfolgend werden die alternativen Betonzusatzstoffe vorgestellt, die am Institut für Werkstoffe des Bauwesens untersucht werden und auf deren Eignung nachfolgend im Detail eingegangen wird.

Calciniertes Ton

Calcinierte Tone sind global verfügbar. Sie weisen wegen des fehlenden oder nur geringen Kalkgehalts beim Brennen eine niedrige CO₂-Emission auf und sind daher nachhaltig und umweltfreundlich. Daher stellen sie eine attraktive Alternative zu herkömmlichen Zusatzstoffen dar [10]. Bisherige Arbeiten [10-13] konzentrierten sich auf die Wirkungsweise von Tonen, die vorrangig aus dem Schichtsilikat Kaolinit oder Illit oder Montmorillonit bestehen. Diese Tone wurden in kleinen Mengen (ca. 10-100 g) als Pulver in Laboröfen gebrannt und die puzzolane Aktivität für das jeweilige Schichtsilikat nachgewiesen.

Am Institut für Werkstoffe des Bauwesens wird ein großtechnisch calciniertes Ton untersucht, der aus einem natürlich anstehenden Ton hergestellt wird. Erdgeschichtlich ist er dem Lias Delta zuzuordnen. Der Rohton wird auf Granalien < 100 mm gebrochen und in einem dreiteiligen Drehrohrofen für die Blähtonproduktion calciniert. Die calcinierten Granulate liegen in Partikelgrößen bis 40 mm vor und werden anschließend auf Korngrößen < 32 µm aufbereitet. Der calcinierte Ton wird unter dem Namen „Liament“ von Liapor GmbH & Co. KG, Pautzfeld, angeboten.

Die puzzolanischen Eigenschaften des calcinierten Tons werden maßgeblich von der Brenntemperatur beeinflusst. Die optimale Brenntemperatur richtet sich dabei nach der Art des jeweiligen Schichtsilikates und ist für reine Tone wie Kaolinit, Illit und Montmorillonit bekannt. Für das vorliegende komplexe Tongemisch musste die optimale Brenntemperatur zunächst in empirischen Untersuchungen ermittelt werden. Im Folgenden wird der Einfluss der Brenntemperatur auf die Mineralphasen des Tongemisches beim großtechnischen Calcinieren und auf die Eigenschaften der calcinierten Tone dargestellt [14].

Der verwendete Rohton kann als quarzhaltiger Ton mit einem hohen Anteil an Tonmineralen und Glimmer bezeichnet

werden. In Abhängigkeit von der Brenntemperatur wandeln sich die Tonminerale, primär Kaolinit bis 700 °C, sowie die Glimmer Muskovit und Paragonit in röntgenamorphe Phasen um. Die Bildung sekundärer Feldspäte kann ab ca. 850 °C nachgewiesen werden. Im Brenntemperaturbereich um 950 °C sind die Tonminerale komplett in röntgenamorphe Phasen umgewandelt und ein Anlösen des Quarzes ist ersichtlich. Die vorhandenen Sulfate werden beim großtechnischen Brennprozess dem calcinierten Ton komplett entzogen. Abbildung 1 veranschaulicht die Veränderungen der mineralogischen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Rohtongranalien für die eigenen Untersuchungen wurden bei etwa 650 °C gebrannt.

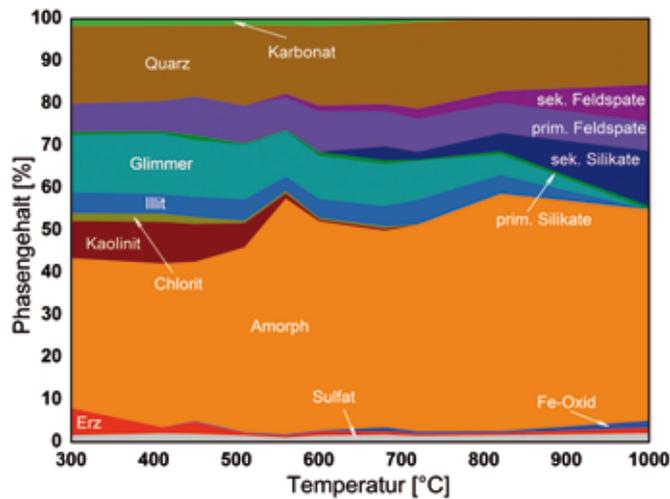


Abbildung 1
Wesentliche Veränderungen der mineralogischen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Temperatur

Metakaolin/Glas-Gemisch

Metakaolin entsteht üblicherweise durch das gezielte Calcinieren von Kaolin. Als Nebenprodukt fällt ein glashaltiges Metakaolin bei der Herstellung eines Blähglases an und wird separat unter dem Namen „Metapor®“ von Dennert Poraver GmbH, Schlüsselfeld, vermarktet. Es besteht im Wesentlichen aus Kaolin, das als Trennmittel für die Produktion des Blähglases verwendet wird. Der Einsatz des Trennmittels ist notwendig, um ein Aneinanderkleben der Glasgranalien während des Blähvorganges zu verhindern. Das Trennmittel Kaolin durchläuft wiederholt den Ofenkreislauf bei Prozesstemperaturen von ca. 800 °C und wird in Metakaolin umgewandelt. Das eingesetzte Trennmittel reichert sich dabei mit Glaspartikeln an und verändert seine chemisch-mineralogische Zusammensetzung durch den Temperaturprozess so, dass die Fähigkeit, die Glasgranalien sicher vor dem Verkleben zu schützen, verloren geht. Das überschüssige, gebrauchte Trennmittel wird dann aus dem Kreislauf entfernt. Die Trennung von Metakaolin und Blähglasgranalien kann großtechnisch nicht zu 100 Prozent erfolgen, weshalb das Endprodukt etwa zu 10 Prozent feinsten Blähglaspartikel ($d < 40 \mu\text{m}$) enthält, wenn es endgültig der Produktion entnommen wird.

Bimsmehl

Bims ist ein vulkanischer Glasschaum, der vornehmlich als leichte Gesteinskörnung eingesetzt wird. Im Zuge einer mehrstufigen Aufbereitung fallen auch sehr feine Stäube mit Korngrößen von maximal 90 μm an. Derart feines Bimsmehl weist puzzolanische Eigenschaften auf [15-18]. Bims hat eine sehr vorteilhafte Ökobilanz, weil CO_2 -Emissionen nur durch den Abbau, die Aufbereitung und den Transport verursacht werden [1]. Das untersuchte Bimsmehl wurde von ROTEC GmbH & Co. KG, Mühlheim-Kärlich, zur Verfügung gestellt.

Chemische Verbindung	Zement CEM I 42,5 R	Calciniertes Ton	Metakaolin mit Glasanteil	Glas-Schleifstaub	Bimsmehl
SiO_2	20,4	54	64	71	56
Al_2O_3	5,0	22	19	2,0	22
Fe_2O_3	3,1	10	0,9	0,5	3,0
CaO	60,8	4	3,1	8,0	2,0
MgO	1,8	2	0,8	2,0	1,0
SO_3	3,2	1	0,1	0,1	-
Na_2O	0,6	0,4	8,8	13	} 12
K_2O	-	3	2,1	1,0	
TiO_2	0,1	1	1,0	0,1	0,5

Tabelle 1
Chemische Zusammensetzung der alternativen Betonzusatzstoffe im Vergleich zu einem Zement

Kennwert	Zement CEM I 42,5 R	Calciniertes Ton	Metakaolin mit Glasanteil	Glas-Schleifstaub	Bimsmehl
Wasseranspruch [M.-%]	23	38	61	-	28
Reindichte [g/cm^3]	3,14	2,63	2,29	2,42	2,43
BET-Oberfläche [m^2/g]	-	5,5	4,1	0,4	7,6
d_{50} [μm]	-	13,3	12,3	45,6	-

Tabelle 2
Physikalische Kennwerte der verwendeten Betonzusatzstoffe

Glasschleifstaub

Feine, glasig-amorphe Stube entstehen beim Konfektionieren von Blahglas-Akustikplatten der Firma Liaver GmbH & Co. KG, Ilmenau. Diese Platten werden in einem Sinterofen aus Blähglasgranulat unter Zugabe von Wasserglas hergestellt und werden nach Vorgabe der Kunden gesägt und geschliffen. Der anfallende Schleif- und Sagestaub kann nicht wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt werden. Er ist größer als die zuvor genannten Stoffe, weist allerdings ebenso wie andere feine Glasstube prinzipiell puzzolanische Eigenschaften auf [19] und hat als Reststoff eine günstige Ökobilanz.

Untersuchungsmethoden

Charakterisierung der untersuchten alternativen Betonzusatzstoffe

Die oxidische Zusammensetzung der vorgestellten alternativen Betonzusatzstoffe wurde mit einem Bruker Röntgenspektrometer S2 Ranger bestimmt. Die Ergebnisse enthält Tabelle 1 zusammen mit den Angaben für den mehrfach verwendeten Referenzzement. Wesentliche physikalische Kennwerte der verwendeten Betonzusatzstoffe und des Zements enthält Tabelle 2. Die spezifische Oberfläche wurde nach DIN ISO 9277 [20] bestimmt. Die Bestimmung der Reindichte nach [21] wurde am Heliumpyknometer Typ Pycnomatic ATC und die Bestimmung der BET-Oberfläche nach [22] an einem Horiba Instruments SA 9600 durchgeführt. Der kristalline Mineralphasenbestand der alternativen Betonzusatzstoffe (Abbildung 1) wurde an einem Röntgendiffraktometer Typ PW 1820 der Firma Philips unter Zugabe von 10 M.-% Zinkoxid als internen Standard gemessen. Die Messdaten wurden mit der Software HighScore Plus 3.0 ausgewertet.

Frischbetoneigenschaften

Die Frischbetoneigenschaften wurden in den meisten Fällen an Mörteln nach [23-25] bestimmt, weil so direkt die Wirkung der alternativen Betonzusatzstoffe im Vergleich zu rein zementären Systemen ersichtlich wird. Das Erstarrungsverhalten wurde nach [26] geprüft. Eine wichtige Eigenschaft der alternativen Betonzusatzstoffe ist ihr nach [27] bestimmter Wasseranspruch und das Wasserrückhaltevermögen [28], die sich beide signifikant auf die Verarbeitungseigenschaften von Beton auswirken.

Festbetoneigenschaften

Bei den Festbetoneigenschaften wird anhand der zeitlichen Entwicklung der Festigkeit die Leistungsfähigkeit im Vergleich mit reinen Zementmorteln bestimmt [29]. Die Festigkeitswerte an Beton wurden nach [30] ermittelt. Des Weiteren gilt das Augenmerk den Auswirkungen der alternativen Betonzusatzstoffe auf verschiedene Aspekte der Dauerhaftigkeit. Hierzu zählen unter anderen die Widerstand gegen Carbonatisieren, der im Zeitrafferversuch ermittelt wurde, und der Widerstand gegen das Eindringen von Chloriden, der nach [31] bestimmt wurde.

Ergebnisse

Frischbetoneigenschaften

Die untersuchten alternativen Betonzusatzstoffe haben zum Teil einen deutlich höheren Wasseranspruch als die verschiedenen Zemente. Die Auswirkungen auf die rheologischen Eigenschaften werden für die baupraktisch relevante Konsistenz am Beispiel des calcinierten Tons verdeutlicht. Als Maß für die Konsistenz wird hier das Ausbreitmaß herangezogen. Die Änderung des Ausbreitmaes ist in Abbildung 2 für die ersten 45 Minuten dargestellt. Es wurden zwei Referenzmischungen mit unterschiedlichen Zementen hergestellt und jeweils mit Betonen verglichen, deren Bindemittel aus einer Kombination Zement : calcinierter Ton = 80 : 20 bestanden. Die Ausgangskonsistenz war zunächst bei den Betonen durch den calcinierten Ton niedriger, was auf den höheren Wasseranspruch zurückzuführen ist. Eine Angleichung der Ausgangskonsistenz mit Hilfe von Fließmittel wurde bewusst nicht vorgenommen. Im weiteren Verlauf war der Konsistenzverlust der Betone mit dem calcinierten Ton etwas geringer als bei den ausschließlich mit Zement hergestellten Betonen.

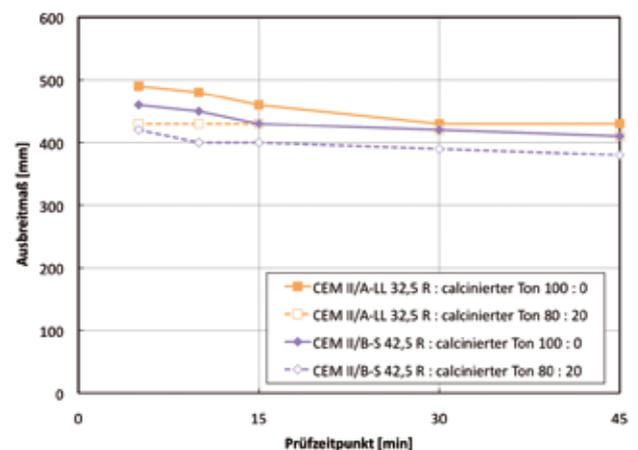


Abbildung 2
Auswirkung des calcinierten Tons auf den Verlauf der Konsistenz [32]

Zur Verbesserung der Ökobilanz werden möglichst hohe Austauschraten von Zement gegen alternative Betonzusatzstoffe angestrebt. Die Auswirkung des höheren Wasseranspruchs durch einen steigenden Gehalt an calciniertem Ton oder dem Metakaolin/Glas-Gemisch wurden in Mortelversuchen nach DIN EN 196-1 [29] überprüft. Mit drei unterschiedlichen Zementen wurde dabei eine annähernd lineare Abnahme der Ausgangskonsistenz mit steigendem Gehalt der alternativen Betonzusatzstoffe festgestellt (Abbildung 3), wobei der Rückgang der Konsistenz durch das Metakaolin/Glas-Gemisch – bedingt durch den höheren Wasseranspruch – ausgeprägter war. Das Verhalten der Bindemittelgemische aus Zement und alternativen Betonzusatzstoffen lässt sich demnach anhand des Wasseranspruchs gut prognostizieren.

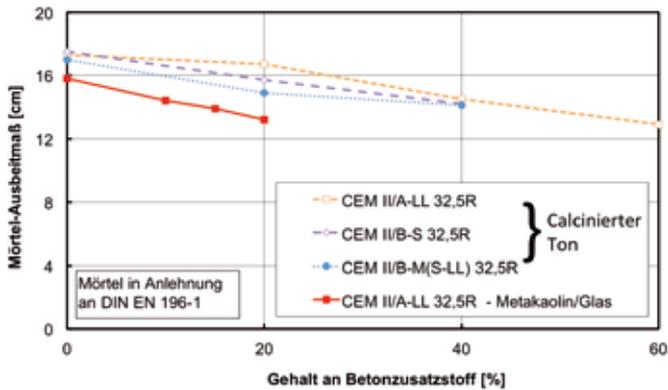


Abbildung 3
Auswirkung des Gehalts an alternativen Bindemittelzusatzstoffen auf die Konsistenz [32]

Ein hoher Wasseranspruch der alternativen Bindemittelzusatzstoffe verbessert unter anderem deutlich die Sedimentationsstabilität. Als Kriterium wird hier die Wasserabsonderung des Frischbetons herangezogen, die auch als „Bluten“ bezeichnet wird. Die Blutneigung kann zum Beispiel durch die partielle Substitution von Zement durch calcinierten Ton signifikant vermindert werden (Abbildung 4). Die verbesserten Werte qualifizieren alle drei Kombinationen ohne weitere Maßnahmen als Bindemittel, die für Konstruktionsbeton bis hin zu befahrenen Bauteile geeignet sind [28].

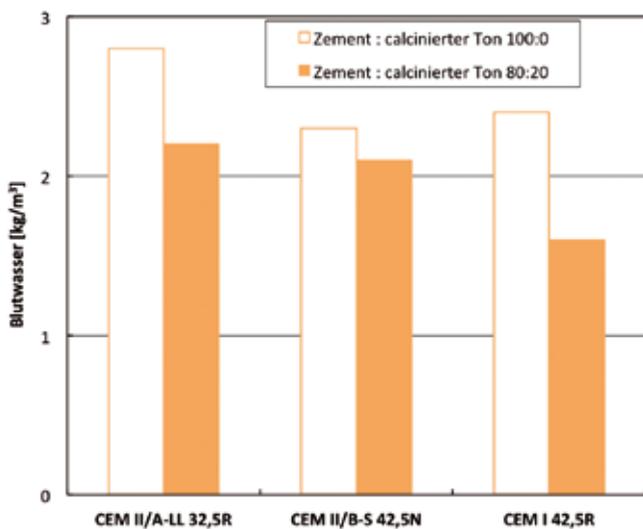


Abbildung 4
Einfluss von calciniertem Ton auf die Blutwassermenge von Frischbeton [33]

Festigkeitsentwicklung

Ein wichtiger Aspekt für jeden puzzolanischen Bindemittelzusatzstoff ist sein Beitrag zur Festigkeit. Dabei spielt es für die verschiedenen Anwendungen zum einen eine Rolle, wie schnell der Bindemittelzusatzstoff einen signifikanten Festigkeitsbeitrag liefert, zum anderen ist von Bedeutung, wie groß dieser Beitrag ist. Die Wirkung eines Bindemittelzusatzstoffs beruht auf einer Kombination aus physikalischen und chemischen Wirkungen. Der physikalische Effekt basiert auf einer Füllerwirkung, wie sie auch von inerten Bindemittelzusatzstoffen (Typ I) geboten wird. Bei geeigneter Kornverteilung und ausreichender Feinheit wird dabei die Packung der feinen Partikel optimiert. Die chemische Wirkung geht primär zurück auf die reaktionsfähige Kieselsäure (SiO_2) der puzzolanischen Bindemittelzusatzstoffe (Typ II), die bei Wasserzugabe mit dem Calciumhydroxyd, das bei der Hydrolyse und Hydratation der Zemente freigesetzt wird, zu Calcium-Silikat-Hydraten (CSH) reagiert. Die zudem aus den puzzolanischen Stoffen freigesetzten Aluminiumionen bilden zusammen mit den Siliciumionen und dem Calciumhydroxyd Calcium-Aluminat-Silikat-Hydrate (CASH).

Für die verschiedenen alternativen Bindemittelzusatzstoffe wurde die Festigkeitsentwicklung bis zu einem Alter von 90 Tagen untersucht. Als Kriterium zum Unterscheiden zwischen physikalischem und chemischem Festigkeitsbeitrag kann der Aktivitätsindex AI herangezogen werden (Gleichung 1). Er vergleicht für das jeweilige Prüfalter die Druckfestigkeit eines Mörtels ($R_{c,a}(d)$), der mit einer Bindemittelkombination aus Zement und alternativem Bindemittelzusatzstoff hergestellt wurde mit der eines gleich altrigen Mörtels, der ausschließlich mit dem betreffenden Zement hergestellt wurde ($R_{c,ref}(d)$).

Gleichung 1

$$AI(d) = \frac{R_{c,a}(d)}{R_{c,ref}(d)} \cdot 100 \%$$

Da inerte Bindemittelzusatzstoffe wie das hier wegen seiner Morphologie verwendete Marmormehl den Zement quasi verdünnen, ist ein Aktivitätsindex in der Größe des Austauschverhältnisses zu erwarten (Abbildung 5), während die puzzolanische Reaktion zu höheren Aktivitätsindizes führt. Hierbei zeichnen sich insbesondere die Bindemittelgemische mit dem Metakaolin/Glas-Gemisch und dem calcinierten Ton durch eine bis zu 10 Prozent höhere Leistungsfähigkeit als der Referenzzement aus. Auch das Bimsmehl liefert nach 28 Tagen einen signifikant vom inerten Marmormehl abweichenden Festigkeitsbeitrag.

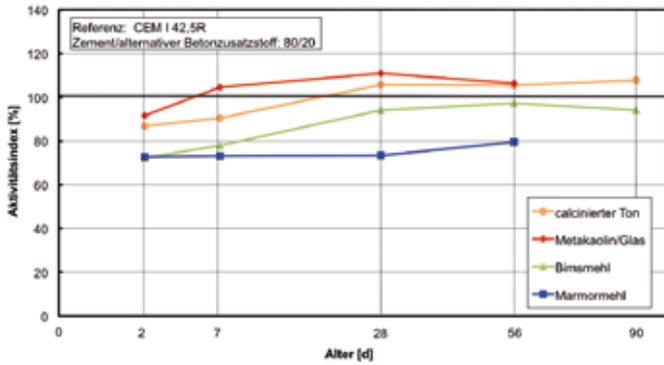


Abbildung 5
Vergleich der Aktivitätsindices von Mörteln mit verschiedenen alternativen Betonzusatzstoffen

Die Ergebnisse der Mörtelversuche können in der Regel sehr gut auf Beton übertragen werden [33]. Für die hier vorgestellten alternativen Betonzusatzstoffe wurden gezielt die Austauschraten gewählt, die im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung möglich wären (Abbildung 6). Während das Metakaolin/Glas-Gemisch etwa die Referenzfestigkeit nach 28 Tagen erreicht, werden mit dem calcinierten Ton mit beiden Austauschverhältnissen etwa 5 Prozent höhere Festigkeitswerte erreicht. Der Glasschleifstaub ist zu grob, um einen Festigkeitsbeitrag zu liefern und wirkt nur als inerter Füller, während der Beton mit Bimsmehl als alternativem Bindemittelbestandteil durch seine puzzolanische Reaktivität nur etwa 10 Prozent hinter der Referenz zurück bleibt.

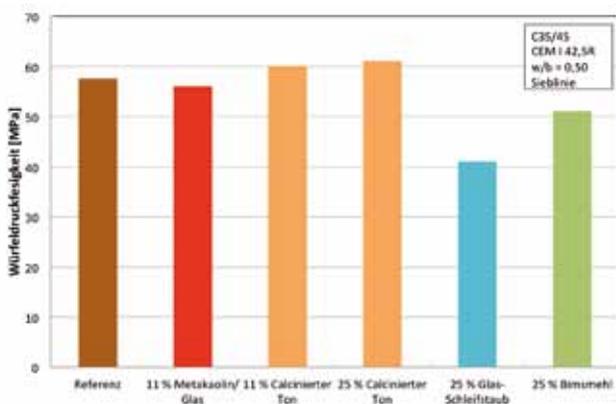


Abbildung 6
Wirkung alternativer Betonzusatzstoffe auf die Druckfestigkeit von Beton nach 28 Tagen

Dauerhaftigkeit

Der Widerstand gegen das Carbonatisieren wurde stellvertretend für die alternativen Betonzusatzstoffe an Beton mit calciniertem

Ton als Bindemittelbestandteil im Zeitrafferversuch in einer Klimakammer mit erhöhter CO₂-Konzentration untersucht [32]. Die beobachteten Unterschiede zum Referenzbeton sind nicht signifikant (Abbildung 7).

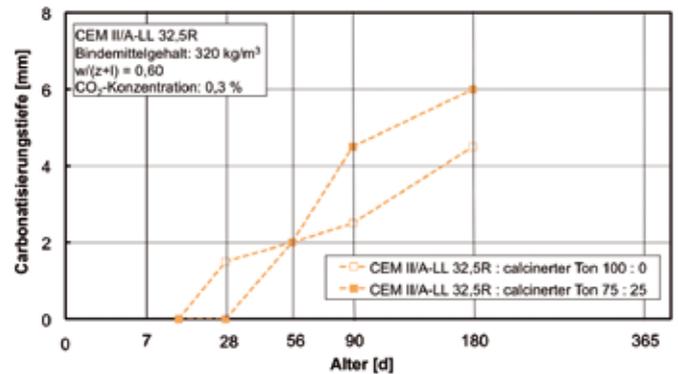


Abbildung 7
Vergleich der Entwicklung der Carbonatisierungstiefe von Beton mit und ohne calciniertem Ton als alternativem Betonzusatzstoff [32]

Der Widerstand gegen das Eindringen von Chloriden in das Betongefüge ist eine wichtige Eigenschaft für die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen. Abgesehen vom Glasschleifstaub können die Chloridmigrationskoeffizienten durch den partiellen Austausch des Zements gegen alternative Betonzusatzstoffe drastisch gesenkt werden und so der Korrosionsschutz für die eingebettete Bewehrung deutlich verbessert werden (Abbildung 8).

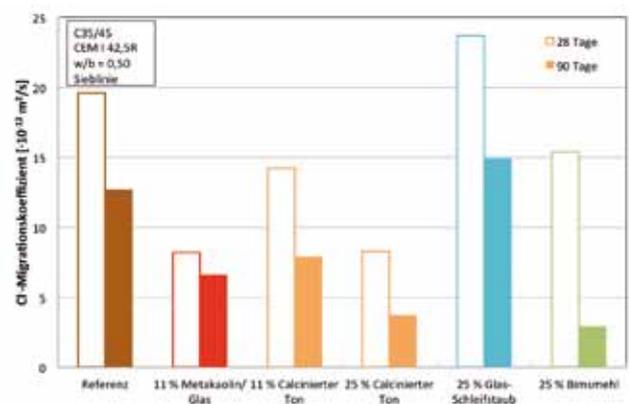


Abbildung 8
Chloridmigrationskoeffizienten von Beton mit und ohne alternative Betonzusatzstoffe im Alter von 28 und 90 Tagen

Ökologische Vorteile

Die ökologischen Vorteile der alternativen Betonzusatzstoffe gegenüber des zu ersetzenden Zements sollen am Beispiel des

gezielt produzierten calcinierten Tons aufgezeigt werden [33]. Die Bilanz der anderen, als Nebenprodukt anfallenden Stoffe fällt noch günstiger aus. Die nachfolgende Tabelle 3 enthält Angaben über den Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie für verschiedene Zementtypen und den verwendeten calcinierten Ton. Die CO₂-Emission durch die Entsäuerung im Zuge der Klinkerproduktion liegt in Deutschland bei 0,78 Tonnen CO₂ je Tonne Portlandzementklinker [34]. Durch die Entsäuerung des Kalkanteils im Lias Delta Ton werden 0,022 Tonnen CO₂ je Tonne calcinierten Tons freigesetzt.

*Tabelle 3
Klinkergehalt und Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie von verschiedenen Zementtypen [1, 35] und calciniertem Ton [36]*

	Klinkergehalt [%]	Nicht-erneuerbare Primärenergie (Mittelwert) [MJ/t]
CEM I	95 - 100	4355
CEM II/B-M	65 - 79	3220
CEM III/A	35 - 64	2156
Calciniertes Ton	-	1731

Die mögliche einzusparende Quantität an nicht erneuerbarer Primärenergie und CO₂-Emission je m³ Beton hängt ganz entscheidend von der Leistungsfähigkeit der Betonzusatzstoffe und damit ihrer Anrechnung auf den Zementgehalt ab. Diese Anrechenbarkeit wird für puzzolanische Betonzusatzstoffe (Typ II) über den erreichbaren k-Wert ausgedrückt. Für die gängigen Betonzusatzstoffe von Typ II liegen die k-Werte bei 0,4 (Steinkohlenflugasche) [37], 0,6 (Hüttensand) [38] und 1,0 (Silicastaub) [37]. Aus den unterschiedlichen k-Werten ergeben sich unterschiedliche Austauschmengen für den jeweils verwendeten

Zement, was sich in der Folge unmittelbar auf die Ökobilanz der mit der Bindemittelkombination hergestellten Betone auswirkt. Die Ergebnisse lassen sich am besten an einem konkreten Beispiel einer üblichen Transportbetonrezeptur vergleichen. Eine erste Abschätzung geht von einer Austauschmenge von 50 kg Zement je m³ Beton aus. Dies entspricht der Differenz zwischen einem Mindestzementgehalt von 320 kg/m³ und dem korrespondierenden Mindestzementgehalt von 270 kg/m³ unter Anrechnung von Betonzusatzstoffen des Typs II [37]. Ein derartiger Beton eignet sich unter Einhaltung weiterer Anforderungen für die Expositionsclassen XD2, XD3, XF2, XF3, XF4, XA2, XA3, XM2 und XM3 nach [37]. Seine Herstellung erfordert typischerweise 1350 MJ/m³ bis 1792 MJ/m³ an nicht erneuerbarer Primärenergie und verursacht eine CO₂-Emission zwischen 0,124 und 0,243 t_{CO2}/m³ [1].

Die Gegenüberstellung in Tabelle 4 hebt die möglichen Einsparungen an nicht erneuerbarer Primärenergie und die entsprechende Reduktion der CO₂-Emission durch die Substitution von Zement durch calcinierten Ton hervor. Die im Kopf der Tabelle aufgeführten Mengen calcinierten Tons entsprechen dem Bedarf, der sich in Abhängigkeit vom jeweiligen k-Wert als Ersatz für die zuvor genannten 50 kg/m³ Zement ergibt. Bereits beim niedrigsten k-Wert von 0,4 wird die CO₂-Emission demnach um bis zu 14 Prozent reduziert, allerdings steigt der Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie um bis zu 12 Prozent an. Angesichts des Leistungsvermögens, das der calcinierte Ton in den bisherigen Untersuchungen gezeigt hat, erscheint auch der Ansatz eines höheren k-Wertes von maximal 1,0 durchaus im Bereich des Möglichen zu liegen. Für diesen Fall wäre eine Reduktion der CO₂-Emission von nahezu 15 Prozent in Kombination mit einer Einsparung an nicht erneuerbarer Primärenergie von 6 bis 8 Prozent zu erzielen. Diese Werte gelten für den teilweisen Austausch eines CEM I-Zements. Die Vorteile wären im Falle eines Kompositzements (CEM II/B-M) entsprechend geringer und selbst für einen Hochofenzement (CEM III) immer noch gegeben.

*Tabelle 4
Mögliche Einsparungen je m³ Transportbeton an nicht erneuerbarer Primärenergie und CO₂-Emission durch die Substitution von Zement durch calcinierten Ton [33]*

	k-Wert: 0,4 (≙ 125 kg/m ³)		k-Wert: 0,6 (≙ 80 kg/m ³)		k-Wert: 1,0 (≙ 50 kg/m ³)	
	Energie [MJ/m ³]	CO ₂ [t/m ³]	Energie [MJ/m ³]	CO ₂ [t/m ³]	Energie [MJ/m ³]	CO ₂ [t/m ³]
CEM I	- 49,8	0,035	46,6	0,036	110,8	0,037
CEM II/B-M	-106,5	0,025	-10,2	0,026	54,0	0,027
CEM III/A	-159,7	0,017	-63,4	0,018	0,8	0,018

Fazit

Die untersuchten alternativen Betonzusatzstoffe bieten die Möglichkeit ökologisch und technisch verbesserte Betone herzustellen. Die vorliegenden und zukünftige Untersuchungen am Institut für Werkstoffe des Bauwesens zielen darauf ab, diese Stoffe im Rahmen der durch den Produktionsprozess vorgegebenen Rahmenbedingungen weiter zu optimieren und die Einsatzgebiete zu

identifizieren, in denen die alternativen Betonzusatzstoffe ihre Eigenschaften optimal zu Geltung bringen können. Die rückläufigen Mengen der Steinkohlenflugasche werden die vorgestellten alternativen Betonzusatzstoffe nur partiell ersetzen können. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ist es daher auch zukünftig geboten, weiter im Bereich der innovativen Alternativen als Bestandteil des Bindemittels im Beton zu forschen.

Literaturverzeichnis

- Eyerer P.; Reinhardt H-W. *Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden*. Basel: Birkhäuser Verlag; 2000. 233 p.
- Verein Deutscher Zementwerke e. V. *Inlandsversand der Verbandsmitglieder nach Zementarten*. 2013 [cited 2013 04.09.2013]; URL: www.vdz-online.de/publikationen-branchendaten/zahlen-und-daten/tabellen/c6-inlandsversand-der-verbandsmitglieder-nach-zementarten-1000-t/.
- Weizsäcker von E.-U., Hargroves K., Smith M. *Faktor Fünf*. München: Droemer Verlag; 2010.
- Verein Deutscher Zementwerke e. V. *Verminderung der CO₂-Emissionen - Beitrag der deutschen Zementindustrie*. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e. V., 2010.
- Stremmermann P., Schweike U., Garbev K., Beuchle G. *Celiment – a sustainable prospect for the cement industry*. *Cement International*. 2010;8(5):52-67.
- Novak R., Schneider W., Lang E. *Neue Erkenntnisse zum Sulfathüttenzement Slagstar*. *Zkg Int*. 2005;58(12):70-8.
- Feldrappe V., Ehrenberg A. *CEM X Zemente - Optimierte Zemente mit Hütten sand, Steinkohlenflugasche und Klinker*. Duisburg: Forschungsgesellschaft für Eisenhütteneschlacken e. V., 2012 Contract No.: 2.
- Schwarzkopf F., Drescher J., Gornig M., Blazejczak J. *Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2030 in Deutschland - Kurzfassung*. Berlin: Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e. V., 2013.
- Christensen E., Bergmann H., Langnickel U., Meier H.-J., Mohrbach L., Weßelmann C. *Stromerzeugung 2011/2012 - Zahlen und Fakten*. Essen: VGB Powertech e.V.; 2011. URL: www.vgb.org/daten_stromerzeugung.html.
- Schulze E., Ricker J. *Pozzolanic Activity of Calcined Clays*. In: Holland TC, Gupta PR, Malhotra VM, editors. *Proceedings of the 12th International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues*; 30.10. - 01.11. 2012 Prag. Chelsea, Michigan: Sheridan Books; 2012. p. 277-88.
- Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. *The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite*. *Cement Concrete Res*. 2011;41(1):113-22.
- He C, Osbaeck B, Makovicky E. *Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects*. *Cement Concrete Res*. 1995;25(8):1691-702.
- Trümer A., Ludwig H.-M. *Calcined clays as supplementary cementitious material*. In: F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde, editor. *Tagungsband zur 18 Internationalen Baustofftagung*; 12.-15.09. 2012 Weimar. Weimar: Eigenverlag; 2012. p. 0627-34.
- Beutner N. *Leistungsfähigkeit großtechnisch calcinierter Tone und deren Wirksamkeit in zementären Systemen*. *Innovationen in Beton - Jahrestagung und 54. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton*; 7./8. November 2013; Bochum: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; 2013.
- Bagheri A., Saneei M.J., Zanganeh H., Alizadeh H. *Comparing the performance of natural pozzolan (pumice) and fly ash on improving durability of high performance concretes containing ternary cement*. In: Justnes H., Jacobsen S., editors. *International Congress on Durability of Concrete (ICDC)*; 18-21 June 2012; Trondheim 2012. p. B5-4.
- Hossain K.M.A. *Blended cement using volcanic ash and pumice*. *Cement Concrete Res*. 2003;33(10):1601-5.
- Siddique R. *Effect of volcanic ash on the properties of cement paste and mortar*. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011;56(1):66-70.
- Tapan M., Depci T., Özvan A., Efe T., Oyan V. *Effect of physical, chemical and electro-kinetic properties of pumice on strength development of pumice blended cements*. *Mater Struct*. 2013;46(10):1695-706.
- Schwarz N., Neithalath N. *Influence of a fine glass powder on cement hydration: Comparison to fly ash and modeling the degree of hydration*. *Cement Concrete Res*. 2008;38(4):429-36.
- DIN. *DIN ISO 9277 Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Festkörpern mittels Gasadsorption - BET-Verfahren*. 2012.
- DIN. *DIN EN 196-6 Prüfverfahren für Zement-Teil 6: Bestimmung der Mahlfineinheit*. 2010.
- DIN. *DIN ISO 9277 Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Gasadsorption nach dem BET-Verfahren*. Berlin: DIN; 2003. p. 19.
- DIN. *DIN EN 1015-3 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk-Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch)*. Berlin 2007.
- DIN. *DIN EN 1015-6 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk-Teil 6: Bestimmung der Rohdichte von Frischmörtel*. 2007.
- DIN. *DIN EN 1015-7 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk-Teil 7: Bestimmung des Luftgehaltes von Frischmörtel*. 1998.
- DIN. *DIN EN 196-3 Prüfverfahren für Zement-Teil 3: Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit*. 2009.
- Punkte W. *Wasseranspruch von feinen Kornhaufwerken*. *beton*. 2002;52(5):242-8.
- Deutscher Beton- und Bautechnikverein. *DBV-Merkblatt „Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton“*. Ermittlung der Blutneigung (Eimerverfahren). Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnikverein; 2007. p. 3.
- DIN. *DIN EN 196-1 Prüfverfahren für Zement- Teil 1: Bestimmung der Festigkeit*. 2005.
- DIN. *DIN EN 12390-3 Prüfung von Festbeton – Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern*. Berlin: Beuth-Verlag; 2002.
- Spiesz P., Brouwers H.J.H. *Influence of the applied voltage on the Rapid Chloride Migration (RCM) test*. *Cement Concrete Res*. 2012;42(8):1072-82.
- Thienel K.-C., Beutner N. *Calciniertes Ton: Ein leistungsfähiger Betonzusatzstoff*. *Heidelberger BetonTECHNOLOGENTag 2012*; München 2012.
- Thienel K.-C., Beutner N, editors. *Effects of Calcined Clay as Low Carbon Cementing Materials on the Properties of Concrete*. *Concrete in the Low Carbon Era*; 2012 9.-11. July 2012; Dundee, UK. Dundee, UK: University of Dundee – Concrete Technology Unit.
- McKinsey & Company. *Änderung der europäischen Richtlinie zum Emissionshandel: Auswirkungen auf die deutsche Zementindustrie*. Düsseldorf: 2008.
- DIN. *DIN EN 197-1 Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement*. Berlin 2011.
- Bundesverband Leichtzuschlag e. V. *Ganzheitliche Bilanzierung von Blähton und Blähschiefer*. 1995.
- DIN. *DIN 1045-2. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*. Berlin 2008. p. 62.
- Ehrenberg A. *Hütten sandmehl als Betonzusatzstoff – Aktuelle Situation in Deutschland und Europa*. *Beton-Information*. 2010(3/4):48-63.

Ganzheitliche Betrachtung beim Bau und Betrieb von Liegenschaften der Bundeswehr

Brigadegeneral Dr.-Ing. Matthias Geitz

Matthias Geitz ist Leiter der Abteilung Infrastruktur im Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr.

E-Mail: MatthiasGeitz@bundeswehr.org

Zusammenfassung

Im Rahmen der ganzheitlichen Betrachtung von Bau und Betrieb von Liegenschaften sind – davon untrennbar – auch die Aspekte Nachhaltigkeit und Innovation mit zu betrachten. Liegenschaftsmanagement und Bauen im Sinn der Nachhaltigkeit hat viele Facetten und heißt in erster Linie ökologisch verträgliche, ökonomisch akzeptable und den Menschen miteinbeziehende Lösungen für Bauvorhaben zu finden. Gelingt das, ist bereits ein Teil der „Mittelfristigen Zielsetzung 2015“ erreicht.

Ganzheitlicher Denkansatz

Nachhaltiges Bauen erfordert einen ganzheitlichen Denkansatz, von der Planung bis zum Ende der Nutzung des Gebäudes, und gibt ein spezifisches Anforderungsprofil an das Bauen vor. Nachhaltige Infrastruktur zeichnet sich durch ihre hohe ökologische, ökonomische und sozio-kulturelle Qualität aus. Diese drei Aspekte bilden die Hauptsäulen der Nachhaltigkeit. Ganzheitlichkeit und Anpassbarkeit sind Maximen, die nachhaltig orientierte Planer, Nutzer und Betreiber sowie die Politik im Blick haben müssen, um nachhaltiges Bauen Realität werden zu lassen. Lebenszyklus-Analyse und Ökobilanz sowohl des Bauwerks als auch der verwendeten Materialien mit Zielrichtung maximaler Energieeinsparung zählen heute ebenso zu den Eckpfeilern des nachhaltigen Bauens wie der „intelligente“ Austausch von Informationen zwischen den Akteuren am Bau. Bei immer knapper werdenden natürlichen Ressourcen kommt einem effizienten Flächenmanagement mit der Flächenentwicklung und der Funktionalität in der Nutzung dabei besondere Bedeutung zu.

Die Ganzheitlichkeit beginnt daher bereits mit den ersten konzeptionellen Überlegungen zur Nutzung der Liegenschaft –

den Nutzungskonzepten – mit ihren nicht selten optimierbaren Flächenpotenzialen. Als einheitliches bundeswehrgemeinsames Instrument des Flächenmanagements sind Nutzungskonzepte grundsätzlich für die wesentlichen Liegenschaften der Bundeswehr im Inland aufzustellen. Der Schwerpunkt der Untersuchung bei der Erstellung eines Nutzungskonzeptes liegt in der sich am Lebenszyklus orientierenden ganzheitlichen, funktionalen und wirtschaftlichen Betrachtung der Liegenschaft. Es kommt darauf an, in einer überschlägigen Form den baulichen Zustand und die wirtschaftliche Auslastung einer Liegenschaft bzw. von Liegenschaften am Standort zu bewerten, sowie die optimierte Zielnutzung einer Liegenschaft und den daraus resultierenden infrastrukturellen Handlungsbedarf konzeptionell zu skizzieren.

Erneuerbare Energien im Eigenbetrieb

Im Zielsystem der Bundeswehr ist als Ziel der Bundesregierung auch das Thema Energieeinsparung manifestiert und festgelegt, dass das Programm „Erneuerbare Energien im Eigenbetrieb (EEE)“ zu starten ist. Mittelfristige Ziele bis zum Jahr 2020 sind die Reduktion des Wärmebedarfs um 20 Prozent und die Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 Prozent. Langfristiges Ziel bis zum Jahr 2050 ist das Erreichen eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes. Der wachsende Anteil an erneuerbaren Energien bei der Energieversorgung von Liegenschaften der Bundeswehr dient der Substitution fossiler Energieträger und damit der nachhaltigen Reduzierung des CO₂-Ausstoßes. In den Liegenschaften der Bundeswehr werden neben Photovoltaik-, Solarthermie- oder Biomasse-Anlagen auch Holzhackschnitzel-, Holzpellet- und Geothermie- Anlagen eingesetzt. Mit der bundeswehreigen Initiative „Erneuerbare Energien im Eigenbetrieb“ soll mittelfristig zwischen 2013 und 2022 der Anteil an erneuerbaren Energien und hier vorrangig der Photovoltaik

weiter gesteigert werden. Stetige Anstrengungen zur Optimierung des Anlagenbetriebes verfolgen das Ziel der Energieeinsparung, z. B. durch Reduzierung der Heiz- und Raumtemperaturen bei vorübergehend oder dauerhaft ungenutzten Unterkunftsgebäuden. Das wohl effektivste Instrument für die Energieeinsparung ist die Gebäudeautomation als übergeordnete Mess-, Steuer- und Regelungstechnik für alle technischen Anlagen in Gebäuden. Automatische Optimierungsroutinen, die Möglichkeit eines Strom-Spitzenlast-Managements und die zentrale Bereitstellung von Energieverbrauchsdaten der Gebäude und Liegenschaften vervollständigen die Möglichkeiten der Gebäudeautomation. Der Betrieb des Gebäudes über seine Nutzungsdauer ist in der Betrachtung der ökologischen Leistungsfähigkeit für uns eine der wichtigsten Komponenten. Daher ist während des Planungsprozesses eine enge Zusammenarbeit der Planer (Architekt, Tragwerksplaner, Haustechniker etc.) mit dem Betreiber und dem Nutzer zu gewährleisten.

Nachhaltigkeit und nachhaltiges Bauen als Qualitätsmerkmal wird sich zu einem immer stärker werdenden Wirtschaftsfaktor entwickeln. Man wird sich nicht mehr erlauben können, in ein Gebäude zu investieren, um nach einigen Jahren festzustellen, dass niemand mehr darin wohnen oder arbeiten möchte. Es wird nicht mehr darum gehen Büroflächen zu finden, sondern darum, die richtige im Sinne der Gesamtenergiebilanz auszuwählen. Dies erfordert von uns allen ein Umdenken. Zukünftig werden Ressourceneffizienz und Lebenszyklusbetrachtung eine immer entscheidendere Rolle spielen. Gewerke vernetzen sich immer stärker.

Flexibel gestaltete Arbeitswelten

Eng mit der Nachhaltigkeit verbunden ist die Innovation. Beide Aspekte sind daher miteinander zu betrachten. Die Verwirklichung moderner Arbeitsplatzkonzepte mit zukunftsweisenden Raum- und Flächengestaltungen sowie die Nutzbarmachung alternativer Energien zu erschwinglichen Preisen sind beispielhaft zwei Themenfelder, auf die im Zusammenhang mit dem Aspekt Innovation einzugehen ist. Der Erhalt des Gleichgewichts zwischen Berufs- und Privatleben in der „rush-hour“-Phase (Eltern 30+) erfordert die Schaffung wichtiger Voraussetzungen am Arbeitsplatz für die Pflege und Versorgung der Kinder. Für die junge Generation (die „Y-Generation“) ist die Work-Life-Balance wichtig bei der Berufswahl. Der Kontakt zu Freunden, zur Familie, aber genauso die Möglichkeit, den Arbeitsplatz zu wechseln, werden immer wichtigere Faktoren. Ebenso schätzen Menschen, die länger arbeiten, die Möglichkeit, Berufstätigkeit und Pflege der Eltern zu vereinbaren. Dies alles hat Auswirkungen auf die Art und Weise der Organisation von Karrieren und somit auf die Wahl des Berufs. Es ist festzustellen, dass sich unsere Arbeitswelten im Umbruch befinden. Die Flexibilisierung nimmt weiter zu. „Arbeiten wann, wie und wo man will. Entscheidend ist das Ergebnis“. Die Steigerung des Anteils der Arbeitsplätze, die ein Arbeiten von Zuhause aus ermöglichen (Stichwort: Telearbeit), erhöhen die Zufriedenheit der Ar-

beitnehmer (Stichwort: Attraktivität). Telearbeit schafft somit eine attraktive Möglichkeit, Familie und Beruf – im Sinne des Konzeptes „Vereinbarkeit von Familie und Beruf“ – zu vereinbaren.

Weil die Projekte immer komplexer werden und interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordern, wird die Projekt- und Teamarbeit in Relation zur Linienarbeit an Bedeutung gewinnen. Flexibel gestaltete Arbeitswelten von speziell ausgestatteten und eingerichteten Projekträumen, flexibel nutzbaren Teamarbeitszonen, Flächen für informellen und spontanen Kommunikationsaustausch, Bereiche für vertrauliche Besprechungen und Telefonate bis hin zur Möglichkeit des konzentrierten Arbeitens in Einzelbüros werden einen Beitrag leisten für ein zukünftig optimiertes Arbeitsumfeld.

Regenerativer Energiemix an der Universität der Bundeswehr München

Innovativ ist auch der zentrale leistungsgebundene Energieeinkauf (ZEE) von Strom und Gas. Die Liberalisierung der Energiemärkte zieht eine veränderte Energiebeschaffung nach sich, den Energieeinkauf an der Börse. Dieser fördert den Wettbewerb und eröffnet Chancen für Einsparungen. Er birgt jedoch – und das soll an dieser Stelle nicht verhehlt werden – auch Risiken durch eine falsche Einkaufsstrategie, beispielsweise die Wahl eines falschen Beschaffungszeitpunktes, und damit das Verpassen eines günstigen Beschaffungspreises. Die derzeit noch überwiegend dezentral durchgeführte Energiebeschaffung soll durch Zerlegung des Strom- und Gasbedarfs in Börsenhandelsprodukte mit größeren zusammengefassten Energiemengen zukünftig einer zentralen strukturierten Beschaffung weichen. Ziel ist es, Einsparpotenziale unter gleichzeitiger Verringerung des Beschaffungsrisikos zu erzielen. Wenn als Einkaufsvariante ein Portfoliomanagement mit externen Dienstleistern genutzt wird, lassen sich durch den strukturierten Einkauf von Strom und Erdgas an der Leipziger Energiebörse für die Bundeswehr Einsparungen in zweistelliger Millionenhöhe erreichen. Unter Innovation fällt auch die vermehrte Nutzung alternativer Energien. Die Energieeffizienz wird nicht zuletzt durch den Einsatz von Blockheizkraftwerken (BHKW) verbessert. Sie ergänzen die erneuerbaren Energien synergetisch. In der Bundeswehr werden aktuell fünfundzwanzig Blockheizkraftwerkenanlagen i.d.R. zur Grundlastversorgung der Liegenschaften betrieben. Weitere sechs Blockheizkraftwerkenanlagen befinden sich im Bau, sechzehn in der kurzfristigen Planung.

Die Universität der Bundeswehr München – als einer der größten Energieverbraucher unter unseren Liegenschaften – wird zukunftsweisend auf regenerative Energien ausgerichtet. Erstmals in der Bundeswehr wird der Strom nicht über den zentralen Energieeinkauf beschafft. Die Energie wird zukünftig über einen großen deutschen Stromanbieter vollumfänglich aus der skandinavischen Wasserkraft zur Verfügung gestellt werden. Die Wärmeversorgung wird bis Mitte 2014 von Erdgas- und Ölbetrieb umgestellt auf einen regenerativen Energiemix aus Geo-

thermie und Biomasse. Zur Eigenversorgung mit regenerativer Energie werden verschiedene Dächer der Unterkunftsgebäude mit Photovoltaikanlagen ausgestattet.

Ausbildung des Ingenieurwachstums

Ökologie als eine der drei Hauptsäulen der Nachhaltigkeit beinhaltet die Aspekte Ressourcenschonung, Schutz der globalen und lokalen Umwelt und Reduzierung des Gesamtenergiebedarfs von Gebäuden. Die Berücksichtigung dieser Faktoren ist aufgrund des Klimawandels, steigender Energiepreise und schwindender Ressourcenvorräte von großer Bedeutung. Die Universität der Bundeswehr München hat dieser Tatsache u. a. dadurch Rechnung getragen, dass sie den Studiengang „Bauingenieurwesen und Umwelttechnik“ in „Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften“ umgestaltet hat. Klassische Tätigkeitsfelder des Bauingenieurs sind Beraten, Planen, Konstruieren und das Errichten von Bauwerken. Dazu kommt das nachhaltige Betreiben über den gesamten Lebenszyklus der Bauwerke. Das Lehrangebot der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften stellt sich dieser Aufgabe eindrucksvoll, um unseren Ingenieurwachstum auf diese beruflichen Herausforderungen vorzubereiten. Mit der Vorbereitung und Betreuung unseres Ingenieurwachstums wird die Universität der Bundeswehr München – quasi in einer Vorreiterrolle für die Bundeswehr – zukünftig noch viel früher ansetzen. Mit dem Attribut innovativ belegbar ist auch die erste hier entstehende, aus dem Einzelplan 14 finanzierte Kinderkrippe der Bundeswehr. Der vom staatlichen Bauamt München 1 mit Baukosten von rund 2,0 Mio. Euro kalkulierte Neubau in Massivholzbauweise – also einem nachhaltigen Baustoff – soll bis zum Frühjahr 2014 fertiggestellt sein.

Die Universität der Bundeswehr München verdeutlicht, dass Forschung und Lehre einander bedingen und am Beispiel des nachhaltigen Bauens in hervorragender Weise aus einer Hand kommen. Exemplarisch dafür ist die Erforschung von Gebäudekonstruktionen, Bauteilen und Bauprodukten in den Laboren der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften zu nennen. Die Entwicklung von Baustoffen, zu deren Herstellung ein geringer Energieaufwand benötigt wird und die möglichst aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden können, hat heute in der Forschung einen erheblichen Stellenwert erlangt. Um einen aktiven Beitrag zur Energiewende und zum Schutz der Umwelt zu leisten, sieht sich die Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Universität der Bundeswehr München hier im besonderen Maße der Nachhaltigkeit verpflichtet.

Fazit und Ausblick

- Die fortschreitende Flexibilisierung der Arbeit wird die Gesellschaft verändern.
 - Die Umsetzung des Konzepts zur „Vereinbarkeit von Familie und Beruf“ wird immer wichtiger. Die nicht nur durch den Wehrbeauftragten eingeforderte Verbesserung in der Anwendung und Umsetzung ist dringlich, will der Arbeitgeber Bundeswehr ein auf dem Arbeitsmarkt konkurrenzfähiger Arbeitgeber werden und auch bleiben.
 - Arbeits- und Führungsstile sowie Arbeitszeitmodelle werden sich neuen Entwicklungen anpassen.
 - Feste Arbeitsplätze werden zunehmend überflüssig.
-

Konversionsflächenmanagement – Beitrag zur Flächenkreislaufwirtschaft und nachhaltigen Entwicklung



Prof. Dr.-Ing. Christian Jacoby

Christian Jacoby, geb. 1959 in Trier, Dipl.-Ing. Raum- und Umweltplanung, hat als wissenschaftlicher Assistent an der TU Kaiserslautern 1999 über die Strategische Umweltprüfung in der Raumplanung promoviert und ist nach praktischen Tätigkeiten in der öffentlichen Verwaltung und in Ingenieurbüros seit Juli 2002 Universitätsprofessor im Institut für Verkehrswesen und Raumplanung der Universität der Bundeswehr München. Seine Lehr- und Forschungsfelder liegen in den Bereichen Nachhaltige Raumentwicklung und Mobilität, Planungsmethodik und Projektentwicklung sowie Umweltplanung und Umweltprüfung. Aktuelle Forschungsprojekte widmen sich dem Konversionsflächenmanagement zur zivilen Nachnutzung freigegebener militärischer Liegenschaften, den raumplanerischen Strategien zur Energiewende und Anpassung an den Klimawandel sowie der Weiterentwicklung von Verfahren und Methoden der Umweltprüfungen für Programme und Pläne.

E-Mail: christian.jacoby@unibw.de

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsvorhabens über das „Konversionsflächenmanagement zur nachhaltigen Wiedernutzung freigegebener militärischer Liegenschaften“ (REFINA-KoM) beschreibt der Beitrag die Potenziale und Herausforderungen der Militärfächenkonversion für die Reduzierung der Freiflächenneuanspruchnahme und eine nachhaltige Siedlungsentwicklung. Nach einer Übersicht über die zurückliegenden Stationierungsentscheidungen der Bundeswehr mit ihren Flächenfreigaben und einer kurzen Darstellung der veränderten Rahmenbedingungen für die Konversion werden die im Forschungsprojekt entwickelten Bausteine eines nachhaltigen Konversionsflächenmanagements dargelegt. Weitergehende Ausführungen zu den Forschungsergebnissen können der „Arbeitshilfe Nachhaltiges Konversionsflächenmanagement“ (Jacoby 2011) als zentralem Produkt des Forschungsvorhabens entnommen werden.

Einleitung

Die Umwandlung von militärisch genutzten Flächen in zivil nutzbare Areale, die sogenannte Militärfächen- bzw. Stand-

ortkonversion, ist im Grunde genommen eine sehr alte Aufgabenstellung für die betroffenen Standorte bzw. Gemeinden. Auslöser für solche Konversionsprozesse sind stets Stationierungsentscheidungen der militärischen Seite vor dem Hintergrund militärischer bzw. verteidigungspolitischer Erfordernisse. Die betroffenen Regionen, Städte und Gemeinden können auf solche übergeordneten, strategischen Entscheidungen nur mit ihren planerischen Mitteln reagieren und auf staatliche Hilfe bei diesem Transformationsprozess hoffen. Häufig werden die auftretenden Probleme bei der Militärfächenkonversion vor Ort in den Vordergrund gerückt, jedoch bietet die Freigabe von bisher militärisch genutzten Flächen auch große Chancen für die Kommunen, nicht zuletzt was die Bemühungen um einen „Flächen sparende“, nachhaltige Siedlungsentwicklung angeht.

Der folgende Artikel widmet sich der Fragestellung, wie das Management von Konversionsprozessen vor Ort einen Beitrag zu der sogenannten Flächenkreislaufwirtschaft leisten kann, das heißt zu dem Ziel, Flächen nach (militärischer) Nutzungsaufgabe einer neuen Nachnutzung zuzuführen („Flächenrecycling“) und damit den sogenannten „Flächenverbrauch“, genauer die Flächenneuanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke, zu reduzieren.

Die Ausführungen geben wesentliche Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben „Konversionsflächenmanagement zur nachhaltigen Wiedernutzung freigegebener militärischer Liegenschaften“ (REFINA-KoM) wieder, welches in den Jahren 1997-2011 unter der Leitung des Autors im Institut für Verkehrswesen und Raumplanung an der Universität der Bundeswehr München durchgeführt wurde. Gefördert wurde das Vorhaben im Rahmen des Forschungsprogramms „Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und nachhaltiges Flächenmanagement“ (REFINA) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Dem Projektträger Jülich (PTJ) sowie dem Deutschen Institut für Urbanistik (difu) oblagen die Projektbegleitung.

Das Projekt REFINA-KoM, insbesondere die Arbeitshilfe „Nachhaltiges Konversionsflächenmanagement“ als zentrales Produkt dieses Forschungsvorhabens (JACOBY 2011), wurde bearbeitet in Kooperation mit den Partnern im Forschungsverbund, dem Konversionsbüro im Ministerium für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein und der FIRU mbH NL Berlin, sowie in Zusammenarbeit mit dem Innenministerium und dem Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA), den in Schleswig-Holstein wirkenden Regionalmanagern Konversion sowie ausgewählten Konversionskommunen dieses Landes. Wichtige Grundlagen für die Erstellung dieser Arbeitshilfe wurden in der Konzeptionsphase des Forschungsprojektes REFINA-KoM gelegt, in der eine Reihe weiterer Partner aus Wissenschaft und Praxis mitwirkten.

Stationierungsentscheidungen und Standortschließungen in Deutschland

Die militärische Flächenkonversion ist in Deutschland eine Erscheinung, welche alle Länder wie auch sämtliche Raumkategorien betrifft. Die Schwerpunkte bei der Liegenschaftsfreigabe haben sich seit der ersten Konversionswelle in den 1990er Jahren von Ost- nach West- und Norddeutschland verschoben. Aus den

folgenden Flächenfreigaben im Zeitraum 2000 bis 2014 standen gesamt ca. 51 550 ha ehemals militärische Grundstücksfläche und ca. 740 ha Gebäudenutzfläche zum Verkauf bereit bzw. sind zum Verkauf angekündigt (Auswertung im Rahmen der Konzeptionsphase REFINA-KoM nach Daten des BMVg 2007, Stand 28. Dezember 2007).

Seit Beendigung der Ost-West-Konfrontation und der Wiedervereinigung Deutschlands wurde die Truppenstärke der Bundeswehr bis 2011 um mehr als die Hälfte auf ca. 220 000 Soldaten (Deutscher Bundestag 2011) reduziert und in mehreren Freigabewellen eine Vielzahl militärischer Flächen dem zivilen Immobilienmarkt zugeführt. Hinzu kommen weitere militärische Liegenschaftsflächen ausländischer Streitkräfte, die bereits aufgegeben wurden bzw. deren Freigabe für die nächsten Jahre anstehen. Somit definiert die militärische Flächenkonversion seit rund 20 Jahren kontinuierlich eine bedeutende Aufgabe der Raum- und Umweltplanung in Deutschland.

Vor dem Hintergrund der geänderten militärischen Anforderungen an die Bundeswehr und aufgrund notwendiger Einsparungen im Wehretat wurden 2011 eine Aussetzung der Wehrpflicht und eine weitere Verringerung der Truppenstärke auf max. 185 000 militärische Dienstposten beschlossen. Am 26. Oktober 2011 wurden im Rahmen dieses neuen Strukturkonzepts der Bundeswehr Standortschließungen (31 Standorte) und signifikante Standortverkleinerungen (90 Standorte) bekannt gegeben und somit eine weitere Konversionswelle in Gang gesetzt (BMVg 2011, vgl. Abbildung 1).

Die Länder Schleswig-Holstein und Bayern sind von der aktuellen Konversionswelle besonders betroffen.

Veränderte demografische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Aktuelle und künftige Standortschließungen treffen – mit Ausnahme von wenigen Wachstumsregionen wie Hamburg oder

Anzahl der zu schließenden Standorte mit Dienstposten von

	15 - 100	101 - 500	501 - 1000	über 1000	Gesamt
Baden-Württemberg	0	0	3	1	4
Bayern	0	0	1	2	3
Berlin	0	0	0	0	0
Brandenburg	0	0	0	0	0
Bremen	0	0	0	0	0
Hamburg	0	0	0	0	0
Hessen	0	0	1	0	1
Mecklenburg-Vorpommern	1	1	1	0	3
Niedersachsen	2	0	0	1	3
Nordrhein-Westfalen	1	0	1	0	2
Rheinland-Pfalz	0	2	1	2	5
Saarland	0	0	0	0	0
Sachsen	1	0	0	0	1
Sachsen-Anhalt	0	0	0	0	0
Schleswig-Holstein	3	0	5	0	8
Thüringen	0	1	0	0	1
	8	4	13	6	31

Abbildung 1

Weitere Standortschließungen der Bundeswehr in den Ländern gemäß aktuellem Stationierungskonzept 2011 (BMVg 2011, S. 20)

München – auf einen zunehmend gesättigten Flächenmarkt mit starker Konkurrenz, da bisherige Liegenschaftskonversionen den Flächenbedarf bereits weitgehend decken konnten oder vielerorts zusätzlich Flächen der Deutschen Bahn bzw. Deutschen Post sowie Gewerbe- und Industrieflächen freigegeben werden. Ebenso erfordern veränderte Rahmenbedingungen bezogen auf die demografische Entwicklung mit Wachstums- und Schrumpfräumen, die Finanzknappheit und Verschuldung der öffentlichen Gebietskörperschaften und die in vielen Regionen stagnierende Situation der Wirtschaft und des Arbeitsmarktes innovative, projektübergreifende Ansätze bei der Umwandlung der zumeist großflächigen Militärstandorte.

Vor diesem Hintergrund lassen sich kurzfristige punktuelle Lösungen zur Nachnutzung von Konversionsflächen immer schwieriger finden. Denn die rechtlichen Bindungen des Grundeigners (Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA)) im Rahmen der Verwertung und die finanziellen Interessen der Projektentwickler / Investoren einerseits sowie die regional- und kommunalpolitischen Interessen im Hinblick auf eine nachhaltige Siedlungs- und Freiraumentwicklung andererseits, sind in vielen betroffenen Regionen immer schwieriger in Einklang zu bringen.

Flächensparziel und Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung

Die fortschreitende Freiflächeninanspruchnahme hat nicht erst in den letzten Jahren zur Einsicht geführt, dass ohne ein Gegensteuern die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung nicht zu erreichen sind und künftige Entwicklungschancen gefährdet werden. In unterschiedlichen Ansätzen werden seither in Wissenschaft und Praxis die Möglichkeiten einer Reduzierung der Freiflächeninanspruchnahme ausgelotet (siehe u. a. JÖRISSEN; COENEN 2007 und UBA 2004). „Mehr Wert für die Fläche“ postuliert der Rat für Nachhaltige Entwicklung in seinen Empfehlungen an die Bundesregierung zur Umsetzung des „Ziel-30-ha“ für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land vom Juni 2004 (Rat für Nachhaltige Entwicklung 2004). Erstmals wurde damit – analog dem CO₂-Minderungsziel – ein bundesweites Ressort übergreifendes Minderungsziel für den Flächenverbrauch formuliert.

Als eines der zunächst sieben prioritären Handlungsfelder der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung zählt die Verminderung der Flächeninanspruchnahme. In regelmäßigen Fortschrittsberichten berichtet die Bundesregierung über Ziele und Maßnahmen und schreibt die Strategie selbst fort. Trotz der vielfältigen Anstrengungen und des hohen politischen Stellenwertes sind eine signifikante Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und eine Entkoppelung von der konjunkturellen Lage bisher noch nicht gelungen.

Der Indikatorenbericht des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt 2010, S. 14 f.), in dem alle zwei Jahre die Entwicklung der in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie festgeschriebenen Nachhaltigkeitsindikatoren dargestellt wird,

verdeutlicht, dass beim Indikator „Flächeninanspruchnahme“ die gesteckten Ziele bei Weitem noch nicht erreicht und weitere Anstrengungen erforderlich sind. Die Flächenneuanspruchnahme sank zwar von durchschnittlich 129 Hektar pro Tag im Jahr 2000 auf 104 Hektar im Jahr 2008 und dürfte zwischenzeitlich bei deutlich unter 100 Hektar pro Tag liegen, sie ist damit aber noch weit dem in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie für 2020 festgelegten 30-Hektar-Ziel entfernt.

Neue rechtliche und institutionelle Rahmensetzungen

Neue rechtliche Regelungen sowie institutionelle und finanzielle Rahmenbedingungen, deren Voraussetzungen und Vorgaben auch während der letzten Jahre vielfach geändert, neu gefasst oder neu aufgestellt wurden, bieten zwar neue Potenziale und Chancen, bergen aber auch Herausforderungen, Unsicherheiten und immer wieder neue Ausgangslagen für das zukünftige Konversionsflächenmanagement.

Neue gesetzliche Regelungen sind seit dem Beschluss der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie im Jahr 2002 erlassen worden, die das Erreichen des Ziels zur Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme beeinflussen können. In den Baugesetzbuch- (BauGB-) Novellen 2004 und 2007 wurden u. a. die „Bodenschutzklausel“ (§ 1a Abs. 2 BauGB) ergänzt und für Planungsvorhaben der Innenentwicklung erleichternde und beschleunigende Regelungen getroffen. Hierdurch sollen die Innenstädte gegenüber der „grünen Wiese“ gefördert und Bauinvestitionen vermehrt in den Innenbereich der Siedlungen gelenkt werden. Die Raumordnungsgesetz-Novelle vom Juli 2008 betont entsprechend in § 2 Abs. 2 Nr. 6 Satz 3: „Die erstmalige Inanspruchnahme von Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke ist zu vermindern, insbesondere durch die vorrangige Ausschöpfung der Potenziale für die Wiedernutzbarmachung von Flächen, für die Nachverdichtung und für andere Maßnahmen zur Innenentwicklung der Städte und Gemeinden sowie zur Entwicklung vorhandener Verkehrsflächen.“

Auch die Vergabep Praxis von öffentlichen Grundstücken und die bisher geltenden Verwertungsrichtlinien des Bundes und anderer öffentlicher Grundstückseigentümer wurden durch Änderungen bzw. Urteile zum Vergaberecht stark beeinflusst (zu den rechtlichen Aspekten der Konversion siehe auch BARDENHAGEN 2008a/b).

Auf institutioneller Ebene übernahm die BImA (Bundesanstalt für Immobilienaufgaben) seit 2005 als Nachfolgerin die Aufgaben der früheren Bundesvermögensverwaltung und wurde u. a. für die Verwertung der vom Bund nicht mehr benötigten Liegenschaften verantwortlich. Im Zuge der Neufassung des Managements aller bundeseigenen inländischen Immobilien wird die BImA bis Ende 2013 Eigentümerin sämtlicher in militärischer oder ziviler Nutzung befindlicher Dienstliegenschaften des Bundes in Deutschland. In diesem Rahmen erfolgte im Juni 2008 auch die Eingliederung von Personal und Aufgaben der bisherigen Abteilung

Entwicklung und Vermarktung der g.e.b.b. mbH (Gesellschaft für Entwicklung, Beschaffung und Betrieb), die als bundeswehreigenes Unternehmen seit 2002 auch parallel zur Bundesvermögensverwaltung bzw. zur BImA nicht mehr betriebsnotwendige Liegenschaften der Bundeswehr vermarktete, in die BImA.

Daneben wurden Förderprogramme des Bundes, der Landesregierungen oder der EU neu gefasst bzw. geändert und auf neue Herausforderungen etwa in der Strukturpolitik oder der Raum- und Umweltplanung abgestellt.

Stand der Wissenschaft in Bezug auf die Flächenkreislaufwirtschaft

Neben dem BMBF-Förderschwerpunkt „Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement (REFINA)“ als Teil der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung beschäftigt sich eine Vielzahl von Forschungsprogrammen und Initiativen auf unterschiedliche Weise mit der Thematik der Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. Diese Programme und Initiativen werden u. a. in der Informations- und Kommunikationsplattform des übergeordneten Rahmenprogramms „Forschung für die Nachhaltigkeit“ (FONA) des BMBF (www.fona.de) gebündelt und dargestellt.

Kommunales Flächenressourcen-Management, wie es z. B. in Bayern im „Bündnis zum Flächensparen“ (BayStMLU 2002) oder im Aktionsbündnis „Flächen gewinnen in Baden-Württemberg“ (Baden-Württemberg 2005) unterstützt wird, ist ein innovatives Instrument auf mehreren Ebenen zur Steuerung der gemeindlichen Entwicklung mit dem Ziel, die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme bei allen Planungsschritten zu verwirklichen.

Flächenmanagement auf regionaler Ebene erweitert diese Ansätze im Hinblick auf die Koordination überörtlich bedeutender Flächenpotenziale und Flächennutzungsansprüche. Ein wichtiges Forschungsprojekt in diesem Feld wurde unter dem Titel „Fläche im Kreis – Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtregionalen Flächennutzung“ vom Deutschen Institut für Urbanistik (DIfU) im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) als Forschungsvorhaben des Experimentellen Wohnungs- und Städtebaus (ExWoSt) von 2004 bis 2007 durchgeführt (nähere Informationen dazu unter www.flaeche-im-kreis.de). Hierbei wurde in verschiedenen Modellregionen überprüft, ob und unter welchen Rahmenbedingungen die sogenannte „Flächenkreislaufwirtschaft“ eine tragfähige Strategie für Städte/Stadtregionen darstellen, und mit welchen Maßnahmenbündeln bzw. Policy-Mix sich Städte/Stadtregionen dem Ziel des Flächenkreislaufes nähern können. Bei diesem breit angelegten Projekt spielt die Konversion militärischer Liegenschaften allerdings eine untergeordnete Rolle.

Im Hinblick auf die Aufgabe des Flächenrecyclings als einem zentralen Baustein des Flächensparens und der nachhaltigen Siedlungsentwicklung sind des Weiteren die Forschungsarbeiten des UBA zu nennen. Auf das in diesem Rahmen angewendete „ABC-Modell“ (ICSS 2005, S. 8) wurde im Forschungsprojekt REFINA-KoM direkt aufgebaut und ein Typisierungsmodell entwickelt, mit dem Konversionsflächen in einer Erstbewertung hinsichtlich immobilienwirtschaftlichem Potenzial und dem Potenzial für ein nachhaltiges Flächenmanagement eingestuft werden können.

Konversionsflächenmanagement zur effektiven Steuerung der Flächenkonversion

Der Konversionsprozess zeichnet sich durch verschiedene, zum Teil parallel verlaufende und sich überlagernde Teilprozesse und Aufgaben aus (siehe Abbildung 4), die unterschiedlichen Fachstellen und Akteuren zuzuordnen sind und untereinander in wechselseitiger Abhängigkeit stehen. Als grundlegende Meilensteine, die in jeder Konversion zum Tragen kommen, sind zu nennen:

- Ankündigung der Aufgabe der militärischen Nutzung durch das Bundesministerium der Verteidigung
- Aufgabe der militärischen Nutzung (Entwidmung) – sogenannte Freigabe – und
- Beendigung des Mietverhältnisses
- Ggf. Veräußerung der Liegenschaft (notarieller Kaufvertrag)

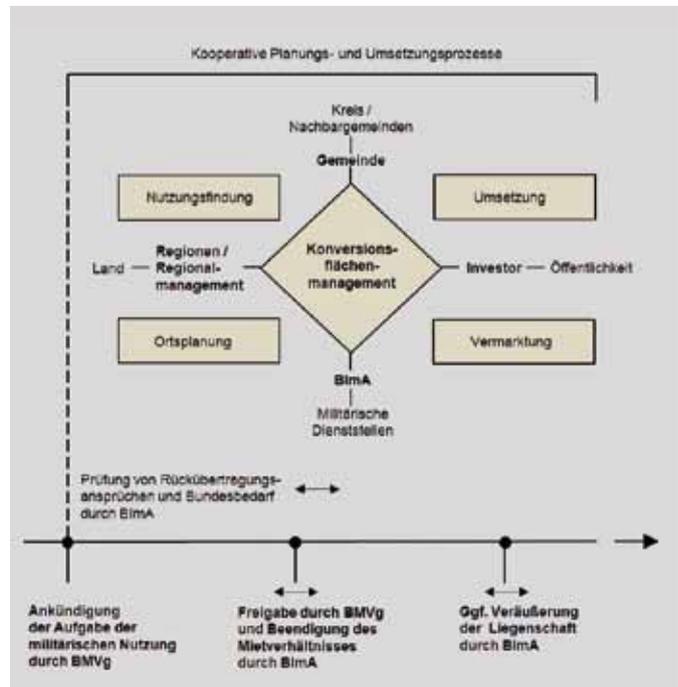


Abbildung 2 Konversionsflächenmanagement zur Gestaltung kooperativer Planungs- und Umsetzungsprozesse (Jacoby 2011, S. 13)

Diese grundlegenden Konversionsereignisse und -abläufe erfordern in verschiedenen Handlungsfeldern weitere, teilweise langwierige Prozesse, die gemeinsam bzw. in Abstimmung mit den beteiligten Akteuren erst initiiert und gestaltet werden müssen, um die Liegenschaftskonversion – die Umwandlung eines Areals mit militärischer Vornutzung zu einer zivil genutzten Fläche – planen, koordinieren und zügig/erfolgreich umsetzen zu können.

Das Konversionsflächenmanagement steuert, begleitet und koordiniert vor dem Hintergrund sonstiger örtlicher und überörtlicher Flächenpotenziale die Umsetzung nachhaltiger Nutzungen von bisher militärisch genutzten Liegenschaften und unterstützt in diesem Rahmen insbesondere die Interaktion, Einbindung und Zusammenarbeit der beteiligten Konversionsakteure. Es hat im Sinne eines orts- und landschaftsplanerischen Qualitätsmanagements die Ergebnis- und Prozessqualität der Konversion zum Ziel.

Die Steuerungs- und Koordinationsprozesse fördern die Entwicklung und Realisierung bedarfsgerechter und passgenauer Entwicklungskonzepte für die Konversionsflächen. Hierbei wird das gesamte Spektrum möglicher ziviler Anschlussnutzungen in die Überlegungen einbezogen und zwischen den Akteuren abgestimmt. Einzelne Liegenschaften sind im Hinblick auf eine bauliche Entwicklung gegenüber anderen zu priorisieren und bevorzugt zu entwickeln, andere – vor allem Flächen außerhalb von Siedlungsgebieten – können für mögliche Freiraumnutzungen in Wert gesetzt, als Flächenreserven „zurückgelegt“ oder aber ggf. zurückgebaut und renaturiert werden (vgl. Abbildung 3).

Bauliche Nutzung (Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung)	Freiraumnutzung / Freiraumfunktion	Flächenreserve (Für eine spätere bauliche Nutzung)
<ul style="list-style-type: none"> Baufläche (Standard): <ul style="list-style-type: none"> - Wohnbaufläche (W) - gemischte Baufläche (M) - gewerbliche Baufläche (G) Sonderbaufläche (S) und Flächen für besondere Nutzungszwecke Energetische bauliche Nutzung Besondere bauliche Nutzung aufgrund standörtlicher Potenziale Innerörtliche Grünflächen 	<ul style="list-style-type: none"> Land- und Forstwirtschaft Landschaftsgebunde Erholung und Freizeinutzung Energetische Freiraumnutzung Rohstoffabbau Naturschutzfläche / Kompensationsfläche 	<ul style="list-style-type: none"> Aufbereitung / Beseitigung von Missständen und Gefahren Grundstücks- bzw. Gebäudesicherung Zwischennutzung Naturschutz / Zwischennutzung Freifläche

Abbildung 3
Nachnutzungsoptionen für Konversionsflächen (Jacoby 2011, S. 37)

Das Konversionsflächenmanagement unterstützt die Kooperation, Abstimmung und Konfliktvermeidung der beteiligten Akteure mit dem Ziel einer effizienten und nachhaltigen zivilen Wiedernutzung der Liegenschaft. Es koordiniert die Arbeits-

schritte und die zeitlichen Abläufe und ordnet dem spezifischen Konversionsfall die geeigneten Instrumente und Maßnahmen zu. Weiterhin trägt es für eine transparente Prozessgestaltung Verantwortung und klärt und integriert die vielfältigen Interessen der Beteiligten, indem es Kommunikations- und Informationsprozesse auf verschiedenen Ebenen ermöglicht und die Akteure in die Prozesse einbindet und vernetzt. Für jeden Konversionsfall ist eine angepasste, kooperativ ausgerichtete Organisationsstruktur zu bilden (vgl. Abbildung 4).

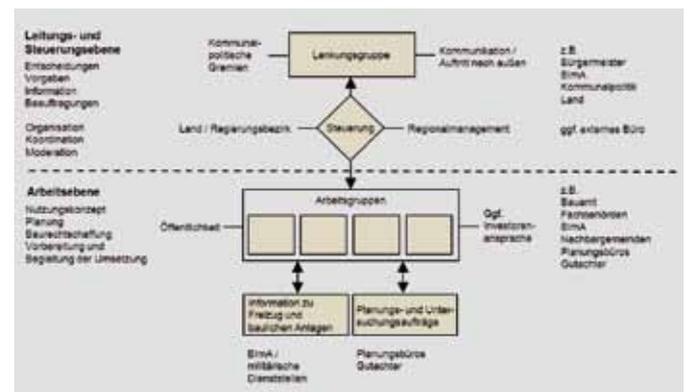


Abbildung 4
Beispiel einer kooperativen Organisationsstruktur im Konversionsprozess (Jacoby 2011, S. 30)

Während die Kommune die Entscheidung über die künftige Flächennutzung alleinverantwortlich treffen muss, wird das Konversionsflächenmanagement, insbesondere die Koordination der Zusammenarbeit zur Erreichung der o. g. Ziele sinnvollerweise partnerschaftlich zwischen Kommune und BImA durchgeführt. Dies schließt die Einbeziehung von Projektentwicklern sowie sonstigen privaten oder gemischtwirtschaftlichen Dritten nicht aus (vgl. Abbildung 5). In Einzelfällen können die Koordinationsaufgaben auch von der BImA allein organisiert bzw. übernommen werden. Die inhaltliche Steuerung des Konversionsprozesses sollte die Gemeinden im Sinne einer gesamthaften Entwicklung jedoch immer aktiv mitgestalten.

Entwicklung von Konversionsstrategien

Für den Umgang mit bisher militärisch genutzten Flächen lassen sich drei grundlegende Handlungsstrategien differenzieren, die unterschiedliche Entwicklungsrichtungen für die Konversionsflächen definieren:

- Strategie der baulichen Nutzung,
- Strategie der Freiraumnutzung,
- Strategie der Flächenreserve (vgl. auch Abbildung 5).

Die einzelnen Konversionsstrategien bieten jeweils weiter differenzierbare Optionen, die im Prozess der Nutzungsfindung aufgenommen und konkretisiert werden müssen. Insbesondere

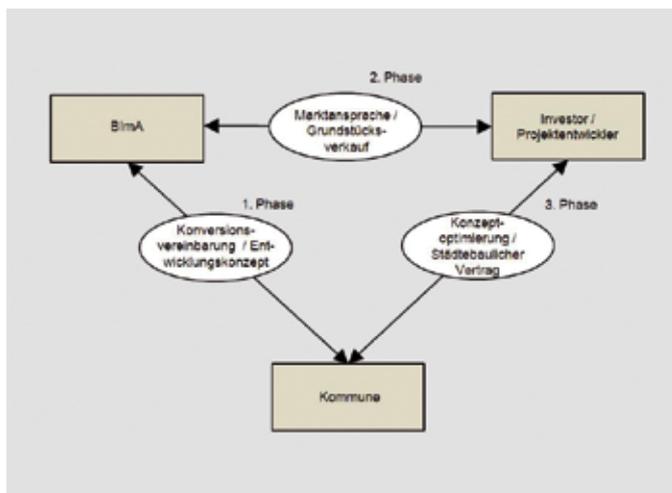


Abbildung 5
Kooperation der zentralen Akteure im Konversionsprozess (Jacoby 2011, S. 31)

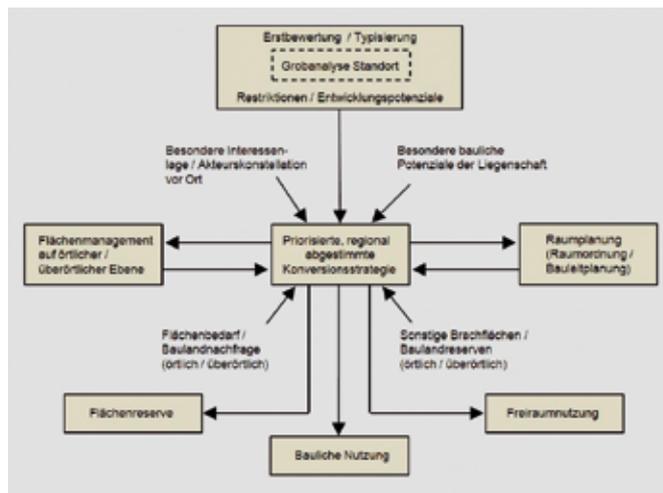


Abbildung 6
Faktoren für eine Flächenpriorisierung und die Festlegung einer Konversionsstrategie (Jacoby 2011, S. 52)

für große Konversionsflächen sind die Strategien auch kombinierbar, wenn z. B. Teilbereiche einer Liegenschaft für eine bauliche Entwicklung vorgesehen werden, andere aber einer Freiraumnutzung vorbehalten bleiben.

Da oftmals große Flächenanteile von bisher militärisch genutzten Arealen im Außenbereich und abseits von Siedlungsgebieten liegen, muss bei den strategischen Überlegungen grundsätzlich darauf geachtet werden, dass durch die Konversion nicht der weiteren Suburbanisierung und Zersiedelung der Landschaft Vorschub geleistet wird. Andererseits bietet gerade die Nutzung von Konversionsliegenschaften oftmals die Möglichkeit, eine Flächenneuanspruchnahme „auf der grünen Wiese“ zu vermeiden. Die Schaffung bzw. Erhaltung nachhaltiger Siedlungsstrukturen hat auch im Rahmen der zivilen Wiedernutzung von Konversionsflächen hohe Priorität.

Liegenschaften außerhalb von Siedlungsbereichen sind im Wesentlichen für eine Freiraumnutzung oder für im Außenbereich privilegierte Vorhaben (§ 35 Abs. 1 BauGB) vorzusehen. Neben Sondernutzungen, welche das spezifische Potenzial der vorhandenen militärischen Bauten nutzbar machen, kann auch eine „normale“ bauliche Entwicklung im Einzelfall sinnvoll sein, wenn ein tragfähiges Entwicklungskonzept für eine bestehende Bebauung – untergeordnete Anlagen wie z. B. Garagen oder Baracken ausgenommen – vorliegt und gleichzeitig die Bedingungen bestimmte Lage- und Qualitätsmerkmale erfüllt werden.

Insbesondere in strukturschwachen Regionen sollte eine auf die einzelne Liegenschaft bezogene Betrachtung immer in ein übergreifendes Konzept eingebunden sein, das Entwicklungsprioritäten sowie spezifische Nutzungszuordnungen und Liegenschaftsprofile auf Basis gesamtstädtischer bzw. regionaler Bilanzen begründet. Die Stärken und Schwächen der jeweiligen Liegenschaft und die spezifischen Flächenpotenziale sind im re-

gionalen Vergleich darzustellen, damit im Sinne eines regionalen Flächenmanagements eine liegenschaftsbezogene Profilbildung ermöglicht und gleichzeitig eine Nivellierung der Möglichkeiten der Kommunen in der Region vermieden wird. Dabei ist der Revitalisierung von Brachflächen ein besonderes Gewicht einzuräumen.

Die Priorisierung von Baulandreserven verfolgt das Ziel, entsprechend den Forderungen eines nachhaltigen Flächenmanagements die Innenentwicklung und eine ressourcenschonende Flächennutzung in der Kommune zu fördern und gleichzeitig bestehende Vermögenswerte zu bewahren und zu nutzen. Konversionsflächen stoßen regelmäßig auf eine bereits durch Stadt- bzw. Ortsentwicklungskonzepte und Bauleitpläne fixierte, priorisierte Flächenkonstellation, die jedoch auch vor dem Hintergrund des im § 1 Abs. 6 Nr. 10 BauGB verankerten Belanges der zivilen Anschlussnutzung von militärischen Liegenschaften auf ihre Gültigkeit zu überprüfen ist.

Werden Konversionsflächen vor diesem Hintergrund als priorisierte Bauflächen eingestuft, sind sie auch in schwierigen Immobilienmärkten auf Basis effizienter Verfahren und Instrumente zu entwickeln. Erst durch die Zurückstellung sonstiger Baulandreserven gegenüber der Wiedernutzung von geeigneten militärischen Liegenschaften ergibt sich aber ein messbarer Beitrag für die Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme. In erster Linie können dies – je nach den vorliegenden Baulandbedarfsprognosen und örtlichen Entwicklungsvorstellungen – eine zeitliche Zurückstellung der Entwicklung oder aber die Rücknahme von ausgewiesenen Bauflächen aus den Flächennutzungsplänen sein. Abbildung 6 stellt die Aspekte dar, die im Sinne eines nachhaltigen Flächenmanagements Voraussetzung für eine Flächenpriorisierung in einer Kommune bzw. in einem regionalen Teilraum / einer Planungsregion sowie für die Festlegung einer Konversionsstrategie sind.

Nutzungsfindungsprozess und Entwicklungskonzept

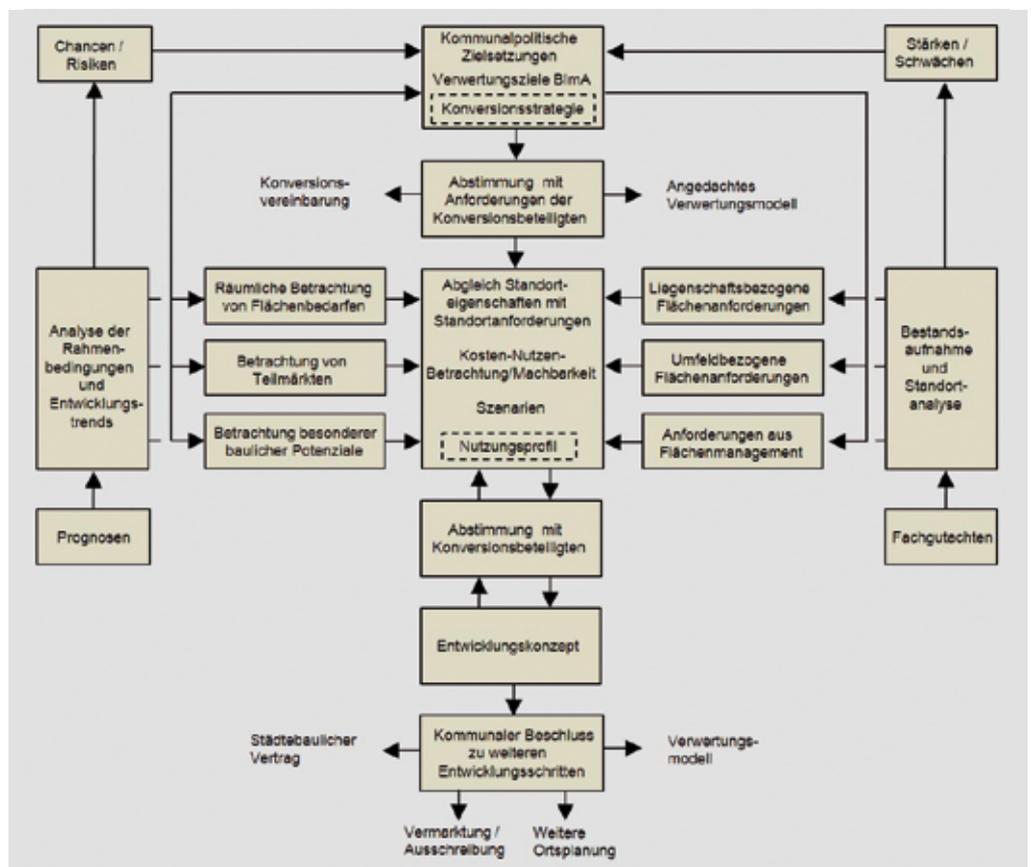
Für eine erfolgreiche, nachhaltige Konversion militärischer Liegenschaften sollte stets eine umfassende Problemdurchdringung und die Erarbeitung eines Entwicklungskonzeptes als Gesamtkonzeptes sichergestellt werden, bevor im Rahmen der formellen Bauleitplanung entsprechende Bau- oder sonstige Nutzungsrechte geschaffen werden. Im Einzelfall kann es für die BImA sinnvoll sein, ohne bestehendes Entwicklungskonzept mit der Liegenschaft an den Markt zu gehen, um von Interessenten Nutzungsvorstellungen „abzufragen“. In der Regel wird die BImA aber mit Vermarktungstätigkeiten oder Auslobungsverfahren erst nach einem vorliegenden Entwicklungskonzept beginnen, dessen Inhalte als gemeinsamer Grundkonsens dienen und in der Folge begründet vertreten werden können. Das Entwicklungskonzept ist weiterhin auch im Sinne einer Aufgabenstellung für die nachfolgenden konkreten Ortsplanungen zu verstehen. Die diesbezüglichen Überlegungen sind schon frühzeitig nach Ankündigung der Aufgabe der militärischen Nutzung und vor dem eigentlichen Freizug der Liegenschaft aufzunehmen, um der Gefahr langer Leerstandzeiten und eines Brachfallens der Areale entgegenzuwirken.

Der Prozess der Nutzungsfindung gestaltet sich sowohl in fachlicher als auch institutioneller Hinsicht als vielschichtig und schwierig und ist deshalb mit einem entsprechend differenzierten Modell zu strukturieren (vgl. Abbildung 7). Die Er-

gebnisse umfassender standortbezogener SWOT-Analysen sind unter Berücksichtigung der kommunalpolitischen Zielsetzungen und Verwertungsziele der BImA (Konversionsstrategie) abzustimmen und in Verbindung mit spezifischen Bestands- und Bedarfsanalysen in ein räumliches Entwicklungskonzept zu überführen. Flankiert werden die analytischen und planerisch-konzeptionellen Arbeitsschritte mit Abstimmungsschritten, die bereits in einer frühen Phase in eine Konversionsvereinbarung zwischen Gemeinde und BImA münden und nach Verabschiedung des Entwicklungskonzepts zu weiteren kommunalen Beschlüssen und ggf. einem städtebaulichen Vertrag mit dem Investor / Projektentwickler führen.

Die „Kunst“ des durch das Konversionsflächenmanagement gesteuerten Nutzungsfindungsprozesses liegt darin, eine Balance zwischen den entwicklungspolitischen Zielen der Standortgemeinde (städtebauliche Wunschvorstellungen, welche die Entwicklungsoptionen einengen) und den auf die Nachfragesituation abstellenden Interessen der BImA (Verwertungsinteresse, welches ein möglichst hohe Flexibilität gegenüber Investoreninteressen einfordert) zu finden. Diese Balance spiegelt das Interesse der Investoren nach flexiblen Nutzungsmöglichkeiten einerseits wie auch Planungs- und Investitionssicherheit andererseits wider (vgl. Abbildung 8). Der Gemeinde kommt dabei in Umsetzung der Konversionsstrategie die Aufgabe zu, das Entwicklungskonzept für die Konversionsfläche als Baustein einer Flächen sparenden, nachhaltigen Siedlungsentwicklungsplanung zu gestalten.

Abbildung 7
Modell des Nutzungsfindungsprozesses (Jacoby 2011, S. 72)



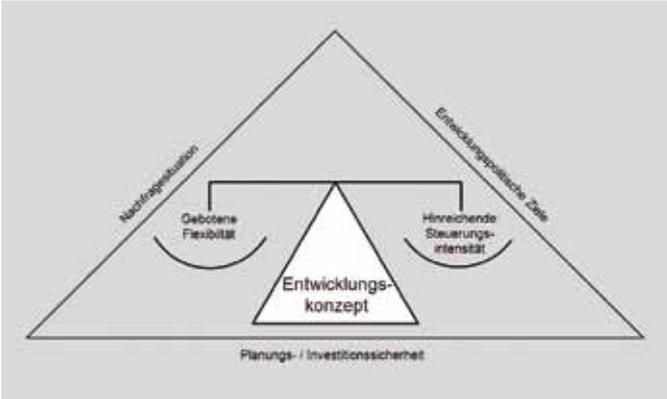


Abbildung 8
 Ausgewogene Erstellung des Entwicklungskonzeptes – zwischen
 gebotener Flexibilität und hinreichender Steuerungsintensität
 (Jacoby 2011, S. 74)

Fazit

Die zivile Wiedernutzung von nicht mehr benötigten militärischen Liegenschaften bietet quantitativ und qualitativ große

Chancen für den Stadtumbau und stellt in Verbindung mit der Implementation innovativer Ansätze eines Konversionsflächenmanagements – auch unter Berücksichtigung einer nur teilweisen baulichen Wiedernutzbarkeit dieser Flächen – ein bedeutsames Potenzial für die Reduzierung der Freiflächenneuinanspruchnahme und damit einen wesentlichen Beitrag zur Flächenkreislaufwirtschaft und nachhaltigen Siedlungsentwicklung dar.

Mit bewährten und neuen Instrumenten des Konversionsflächenmanagements können die Prozesse und Konzepte der Nachnutzung freigegebener militärischer Liegenschaften bedarfsgerecht in der Weise optimiert werden, dass damit die Konversionsflächen in der Konkurrenz mit Siedlungsflächenpotenzialen „auf der grünen Wiese“ mit Priorität einer neuen zivilen Nutzung zugeführt werden.

Aufgrund der großen Flächenareale, die nach den zurückliegenden Stationierungskonzepten und der zu erwartenden weiteren Liegenschaftsoptimierung bei der Bundeswehr aus der militärischen Nutzung fallen, gilt dieses Konversionsflächenmanagement als wichtiger Baustein zur Umsetzung der Flächensparziele der Bundesregierung als ein zentraler Baustein ihrer Nachhaltigkeitsstrategie.

Literaturverzeichnis

- ARGEBAU, Fachkommission Städtebau (2002): Arbeitshilfe zu den rechtlichen, planerischen und finanziellen Aspekten der Konversion militärischer Liegenschaften, beschlossen am 25./26. September 2002, Bonn
- Baden-Württemberg, Umweltministerium (2005) Flächen gewinnen, Stuttgart
- Bardenhagen, Harald (2008a): Rechtliche Aspekte bei der Gestaltung von Konversionsprozessen, in: Jacoby, Christian (Hrsg.): Dokumentation Expertenworkshop. Konversionsflächenmanagement zur nachhaltigen Wiedernutzung freigegebener militärischer Liegenschaften, am 13. September 2007 in Neubiberg, Neubiberg, S. 49-67
- Bardenhagen, Harald (2008b): Der „Ahlhorn-Beschluß“ und seine Folgen für die kooperative Entwicklung von Konversionsflächen, in: Jacoby, Christian (Hrsg.): Dokumentation. Fachtagung. Konversionsflächenmanagement zur nachhaltigen Wiedernutzung freigegebener militärischer Liegenschaften (REFINA-KoM) – Flächenrecycling unter neuen Rahmenbedingungen, Neubiberg
- BayStMLU Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.) (2002): Kommunales Flächenressourcen-Management. Arbeitshilfe, München
- BBSR Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2011): Stationierungskonzept der Bundeswehr – wie die Regionen betroffen sind [www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/AktuelleErgebnisse/2011/Bundeswehr/Bundeswehr_node.html?__nnn=true – Zugriff: 03. Februar 2012]
- BMVg Bundesministerium der Verteidigung (2011): Die Stationierung der Bundeswehr in Deutschland. Oktober 2011, Berlin
- BMVg Bundesministerium der Verteidigung; BImA Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (Hrsg.) (2012): Merkblatt zur Konversion. Hilfestellungen, Förderungen und Verwertungsmodelle des Bundes, Bonn, 10. Mai 2012
- Deutscher Bundestag (2011): „Bundeswehr-Verkleinerung wird deutlicher ausfallen“, Berlin
- ICSS (International Centre for Soil and Contaminated Sites) im Umweltbundesamt (Hrsg.) (2005): Die Zukunft liegt auf Brachflächen. Reaktivierung urbaner Flächenreserven – Nutzungspotenziale und Praxisempfehlungen, Dessau
- Jacoby, Christian; Beutler, Klaus (2008): Konversionsflächenmanagement zur nachhaltigen Wiedernutzung freigegebener militärischer Liegenschaften, in: Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): III. Überregionaler REFINA-Workshop der Vier-Länder-Arbeitsgruppe „Flächenmanagement und Flächenrecycling in Umbruchregionen“ am 26. und 27. November 2008 in Hof, Reihe UmweltSpezial, Augsburg, S. 18-29
- Jacoby, Christian (Hrsg.) (2005): Konversionsmanagement für militärische Liegenschaften vor neuen Herausforderungen, Dokumentation des Kolloquiums am 8. Juni 2005 an der Universität der Bundeswehr München, IVR-Kolloquien Heft 1, Neubiberg [www.unibw.de/ivv/raumplanung/forschung]
- Jacoby, Christian (Hrsg.) (2008): Konversionsflächenmanagement zur nachhaltigen Wiedernutzung freigegebener militärischer Liegenschaften, Dokumentation des Expertenworkshops am 13. September 2007 an der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
- Jacoby, Christian (Hrsg.) (2008): Konversionsflächenmanagement zur nachhaltigen Wiedernutzung freigegebener militärischer Liegenschaften (REFINA-KoM) - Flächenrecycling unter neuen Rahmenbedingungen, Dokumentation der Fachtagung vom 27. und 28. Februar 2008 an der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
- Jacoby, Christian (Hrsg.) (2011): Arbeitshilfe Nachhaltiges Konversionsflächenmanagement – entwickelt am Beispiel der Militärflächenkonversion in Schleswig-Holstein, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg [www.unibw.de/ivv/raumplanung/forschung/refina-kom – Zugriff: 25. Oktober 2011]
- Jörissen, J.; Coenen, R. (2007): Sparsame und schonende Flächennutzung. Entwicklung und Steuerbarkeit des Flächenverbrauchs, Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Bd. 20, Berlin.
- Rat für Nachhaltige Entwicklung (2004): Mehr Wert für die Fläche: Das „Ziel-30-ha“ für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land. Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung, Texte Nr. 11, Juli 2004, Berlin
- Statistisches Bundesamt (2010): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2010, Wiesbaden, S. 14 f.
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2004): Fortschrittliche konzeptionelle Ansätze des Bodenschutzes zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr - Best Practice, UBA Texte 40/04, Berlin

Energiewende – Kulturlandschaft im Wandel



Prof. Dr. Karl-Heinz Thiemann

Prof. Dr. Karl-Heinz Thiemann absolvierte nach dem Studium an der TU Berlin (1980-1985) das Referendariat im Vermessungs- und Liegenschaftswesen in Nordrhein-Westfalen und war anschließend beim Ennepe-Ruhr-Kreis in der Katasterneuvermessung sowie ab 1988 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität der Bundeswehr München im damaligen Institut für Liegenschaftswesen, Planung und Bodenordnung tätig. Dort promovierte er 1994 über Rechts- und Planungsfragen der Flurbereinigung. Von 1993 bis 2000 war er Referent für Flurneu- und Raumordnung im Landwirtschaftsministerium Mecklenburg-Vorpommern und dort vor allem für konzeptionelle Fragen der Landentwicklung und Bodenordnung zuständig. Im Jahr 2000 kehrte Thiemann an die Universität der Bundeswehr München zurück und hat seitdem die Professur für Landmanagement inne, deren Lehr- und Forschungsschwerpunkte die nachhaltige Entwicklung der ländlichen Räume und die Immobilienwertermittlung sind.

E-Mail: k-h.thiemann@unibw.de

Zusammenfassung

Die Energiewende, d. h. die Umstellung der Energieerzeugung von fossiler und atomarer Basis auf regenerative Quellen, gehört zu den bedeutendsten gesamtgesellschaftlichen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte in Deutschland. Sie wird unterstützt durch eine größere Energieeffizienz und Energieeinsparung (die sogenannte EEE-Strategie). Der Beitrag beleuchtet ihre Auswirkungen auf die Landnutzung und versucht, die langfristige Kulturlandschaftsentwicklung abzuschätzen. Dabei wird deutlich, dass der Eindruck der gegenwärtigen Umbruchphase täuscht und genügend Flächenpotenzial für die dezentrale Energiegewinnung zur Verfügung steht. Das Dorf- und Landschaftsbild wird sich infolge der Wind- und Solarenergienutzung jedoch erheblich verändern, denn die Anzahl der Windkraft- und Solaranlagen wird bis 2050 schätzungsweise um das Vier- bis Fünffache anwachsen.

1. Einleitung – Ziele der Energiewende in Deutschland

Der Klimaschutz ist zwingend notwendig und erfordert eine drastische Reduktion der Treibhausgasemissionen. Nur wenn es gelingt, die globale Erwärmung auf 2-3 K zu begrenzen, bleiben die Folgen des Klimawandels insgesamt noch beherrschbar. Hierzu legt das im Rahmen der Klimarahmenkonvention

der UN beschlossene Kyoto-Protokoll vom 11. Dezember 1997 erstmals völkerrechtlich verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen in den Industrieländern fest. Obwohl sich die Folgeverhandlungen äußerst schwierig gestalten und bisher keine weltweit verbindlichen Ziele für den Klimaschutz erreicht werden konnten, hat sich Deutschland verpflichtet, die CO₂-Emissionen gegenüber 1990 um mindestens 80 Prozent zu reduzieren. Dies soll nach dem Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010 durch eine Senkung des Primärenergieverbrauchs um 50 Prozent und eine Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien (EE) am Bruttoendenergieverbrauch auf mindestens 60 Prozent erreicht werden.

Infolge der Nuklearkatastrophe von Fukushima (Japan) im März 2011 beschloss der Bundestag am 30. Juni 2011 mit dem 13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes (BGBl. I S. 1704), die erst im Herbst 2010 verabschiedete Laufzeitverlängerung rückgängig zu machen und acht Kernkraftwerke dauerhaft abzuschalten sowie die übrigen neun spätestens bis 2022 vom Netz zu nehmen. Damit fällt im Gegensatz zu vielen anderen Staaten die Kernenergie als Element im Klimaschutz und Brückentechnologie zur Ablösung fossiler Energieträger in Deutschland weg.

Deutschland ist in hohem Maße von Energieimporten aus dem Ausland anhängig. Die tatsächliche oder politisch bedingte

Verknappung von Kohle, Erdöl und Erdgas führt zu Preisanstiegen mit erheblichen Auswirkungen auf die Wirtschaftsentwicklung. Mit der Energiewende wird daher zugleich das Ziel verfolgt, die Importabhängigkeit auf dem Energiesektor zu vermindern und die Wertschöpfung im Inland zu erhöhen. Dabei soll im Hinblick auf die Bioenergieerzeugung über Biomasseanbau und die dazu benötigten Flächen der Selbstversorgungsgrad von knapp über 100 Prozent bei den Grundnahrungsmitteln (vor allem Getreide, Fleisch, Gemüse und Milch) aufrecht erhalten und der Import von Biokraftstoffen wegen der damit verbundenen Regenwaldproblematik minimiert werden.

Über die skizzierten Ziele der Energiewende (Klimaschutz, Atomausstieg und Verminderung der Importabhängigkeit im Energiebereich) besteht in Deutschland ein breiter gesellschaftlicher und politischer Konsens, der seinen Niederschlag in zahlreichen Strategien und gesetzlichen Regelungen gefunden hat. Zu nennen sind zum Beispiel

- Nationale Nachhaltigkeitsstrategie vom 17. April 2002,
- Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) vom 3. Mai 2010,
- Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie vom 4. August 2010,
- Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010,
- Eckpunktepapier zur Energiewende (Atomausstieg) vom 6. Juni 2011,
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2012 vom 30. Juni 2011.

Wertet man die genannten Dokumente aus, ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten quantitativen Ziele der Energiewende in Bezug auf die Senkung des Energieverbrauchs und die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in den Bereichen Wärme, Verkehr und Strom, die bis zum Jahr 2050 erreicht werden sollen.

Die größten Erfolge konnten bisher im Stromsektor erreicht werden, mit einem Anteil von über 20 Prozent erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch. Hieraus erklärt sich auch,

dass die Diskussion zurzeit sehr „stromlastig“ geführt wird. Dabei ist in der Bevölkerung und weiten Kreisen der Politik die anfängliche Euphorie in den letzten Jahren in eine Sorge um die weitere Entwicklung der Kulturlandschaft umgeschlagen, die sich in Begriffen wie „Vermaischung“, „Verspargelung“ und „Verspiegelung“ als Folge der Bio-, Wind- und Solarenergienutzung äußert.

Im vorliegenden Beitrag soll daher der Versuch unternommen werden, in einer langfristigen Gesamtbetrachtung die Auswirkungen der Energiewende auf die Landnutzung und Kulturlandschaftsentwicklung abzuschätzen. Dabei kann maßgeblich auf die im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) erstellte Studie „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“ vom 29. März 2012 und deren inzwischen etabliertes Szenario 2011 A zurückgegriffen werden (Nitsch et al. 2012). Hieraus entstanden die Tabellen 2 bis 4, in denen die gegenwärtige Situation und die Prognose für das Jahr 2050 dargestellt sind (vgl. Temmler 2013). Dabei wurde versucht, die Daten mit zum Teil unterschiedlicher Bezugsbasis einheitlich zusammenzufassen. Die weiteren statistischen Angaben beruhen zum Großteil auf Internet-Recherchen und Angaben der Fachverbände sowie des Deutschen Windenergie Instituts (DEWI) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR).

2. Wärme

Der Bruttoendenergiebedarf betrug in Deutschland im Jahr 2011 rund 2 631 TWh, wovon mit 1 304 TWh nahezu 50 Prozent auf den Wärmesektor entfallen. Hierbei muss wiederum unterschieden werden zwischen der Prozesswärme in Gewerbe und Industrie mit einem Anteil von rund 40 Prozent am Wärmeverbrauch sowie der Raumwärme einschließlich Warmwassererzeugung mit einem Anteil von rund 60 Prozent.

Ziele	2020	2030	2040	2050
Senkung des CO ₂ -Ausstoßes in Bezug auf das Jahr 1990	- 40 %	- 55 %	- 70 %	- 80 %
Senkung des Primärenergieverbrauchs in Bezug auf das Jahr 2008	- 20 %			- 50 %
• Endenergieverbrauch für Wärme • Primärenergiebedarf für Raumwärme	- 20 %			- 80 %
• Endenergieverbrauch im Verkehrssektor	- 10 %			- 40 %
• Bruttoenergieverbrauch im Stromsektor	- 10 %			- 25 %
Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch	18 %	30 %	45 %	60 %
• Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme	14 %			
• Anteil der Biokraftstoffe am Kraftstoffverbrauch	10 %			
• Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch	35 %	50 %	65 %	80 %

Tabelle 1
Quantitative Ziele der Energiewende in Deutschland und Fahrplan bis 2050

Erzeugungsquelle	2011	Anteil	2050	Anteil
fossile Brennstoffe	1.169 TWh	90 %	339 TWh	48 %
Erneuerbare Energien, davon	135 TWh	10 %	360 TWh	52 %
• feste Biomasse (Holz)	100 TWh	8 %	136 TWh	19 %
• Biogas (über KWK)	15 TWh	1 %	33 TWh	5 %
• Bioabfall (Müllverbrennung)	8 TWh	< 1 %	6 TWh	1 %
• Solarthermie	6 TWh	< 1 %	95 TWh	14 %
• Geothermie und Umweltwärme	6 TWh	< 1 %	90 TWh	13 %
Summe (= Endenergieverbrauch für Raum- und Prozesswärme)	1.304 TWh		699 TWh	

Tabelle 2

Aktueller Energiemix im Wärmebereich und langfristige Prognose für 2050

Während bei der Prozesswärme die Einsparmöglichkeiten über eine größere Energieeffizienz relativ gering sind, können über Gebäudesanierung und klimaneutrale Neubauten erhebliche Einsparungen im Bereich der Raumheizung erreicht werden. Ziel der Energiewende ist es, über eine Verdopplung der Sanierungsrate von derzeit etwa einem Prozent und die ausschließliche Errichtung von Niedrigstenergiehäusern bei Neubauten ab 2021 einen klimaneutralen Gebäudebestand im Jahr 2050 zu erreichen. Da innerhalb der Raumwärme zum Beispiel in Privathaushalten 85 Prozent des Verbrauchs auf die Heizung und nur 15 Prozent auf das Warmwasser entfallen, ist das in Tabelle 1 wiedergegebene Einsparziel von 80 Prozent für die Raumwärme durchaus realistisch. Unterstellt man nur relativ geringe Einspar-effekte bei der Prozesswärme und beim Warmwasser, ergibt sich der in Tabelle 2 dargestellte Energiebedarf von 699 TWh für den gesamten Wärmebereich im Jahr 2050.

Heute erfolgt die Wärmeerzeugung nur zu rund 10 Prozent über erneuerbare Energien, wobei der überwiegende Teil auf Holzheizungen in Privathaushalten (Einzelraumbefeuern mit Kamin oder Ofen bzw. Zentralheizung mittels Scheitholz, Pellets oder Hackschnitzeln) entfällt. Dieser Energiemix wird sich bis zum Jahr 2050 grundlegend ändern. Die Solar-, Geo- und Umweltthermie werden erheblich an Bedeutung gewinnen und bei der Stromerzeugung aus Biogas die Abwärme durch eine konsequente Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) weit stärker genutzt als bisher.

Die in Tabelle 2 wiedergegebene Prognose verdeutlicht aber auch, dass die Energiewende im Wärmesektor kaum Auswirkungen auf die Landnutzung und Kulturlandschaftsentwicklung hat. Denn die Wärmeversorgung erfolgt entweder – wie bisher – über angelieferte Brennstoffe (Erdgas und Holz) bzw. Fernwärme (KWK und Müllverbrennung) oder über Solar- und Geothermieanlagen, welche fast ausschließlich gebäudebezogen sind (Solaranlagen an und auf Dach- und Wandflächen bzw. oberflächennahe Geothermieanlagen mit Sonden unter Gebäuden und im Gartenbereich).

Zur Holznutzung ist anzumerken, dass die Potenziale im Staats-, Körperschafts- und Großprivatwald weitgehend ausgenutzt sind. Demgegenüber wird der Klein- und Kleinstprivatwald, der immerhin ein Drittel aller Waldflächen in Deutschland

– also rund 3,5 Mio. ha – umfasst, auf Grund der erheblichen Strukturdefizite (fehlende Erschließung durch Waldwege, extrem kleine Besitzstände von unter 1 ha, fehlende Abmarkung und damit Auffindbarkeit der Waldgrundstücke, starke Besitzersplitterung) nur sehr schwach genutzt. Hier ist zu erwarten, dass die verstärkten Bemühungen zur Holzmobilisierung über Waldflurbereinigung und gemeinsame Bewirtschaftung zu einer Intensivierung des Holzeinschlags führen, der zum Teil auch in die Eigennutzung zu Heizzwecken fließt (hierzu ausführlich Gerdes et al. 2010, Hinz 2012).

3. Verkehr

Auf den Verkehrsbereich entfielen im Jahr 2011 mit 714 TWh über 27 Prozent des Energiebedarfs in Deutschland, wobei die einzelnen Verkehrssparten folgende Anteile haben:

– Binnenschiffsverkehr	0,5 Prozent,
– Schienenverkehr (Güter und Personen)	2,3 Prozent,
– Luftverkehr (Güter und Personen)	13,6 Prozent,
– Güterstraßenverkehr	27,6 Prozent,
– Personenstraßenverkehr	56,0 Prozent.

Da das Verkehrsaufkommen in allen Bereichen trotz Abnahme der Bevölkerung mittel- bis langfristig weiter leicht zunehmen wird, sind Energieeinsparungen nur über effizientere Antriebstechniken möglich. Ziel der Energiewende ist es, den derzeit äußerst geringen Anteil von Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2050 auf 50 Prozent der Gesamtfahrleistung zu erhöhen, so dass über Kraftstoffe nur noch ein Energiebedarf von 362 TWh abgedeckt werden muss (siehe Tabelle 3). Rechnet man jedoch die Elektromobilität hinzu, werden die Einsparziele deutlich verfehlt.

Biokraftstoffe hatten 2007 bereits einen Anteil von 7 Prozent am deutschen Kraftstoffmarkt. Durch die Einführung einer Besteuerung für biogene Reinkraftstoffe zum 1. Januar 2007 und die vom Verbraucher kaum angenommene Zwangsbeimischung zu den herkömmlichen Kraftstoffen (E 10) fiel dieser auf rund 5 Prozent im Jahr 2011. Bis 2050 wird ein Anstieg des Anteils der Biokraftstoffe am gesamten Kraftstoffbedarf von über 40 Prozent erwartet, der im Gegensatz zu heute möglichst vollständig im Inland erzeugt werden soll.

Erzeugungsquelle	2011	Anteil	2050	Anteil
fossile Kraftstoffe	680 TWh	95 %	212 TWh	59 %
Biokraftstoffe, davon	34 TWh	5 %	150 TWh	41 %
• Biodiesel	25 TWh	4 %	34 TWh	9 %
• Bioethanol	9 TWh	1%	16 TWh	4 %
• Biomass to liquid			33 TWh	9 %
• EE-Wasserstoff			67 TWh	19 %
Summe (= Endenergieverbrauch ohne Strom für Elektrofahrzeuge)	714 TWh		362 TWh	
Elektrofahrzeuge	6.600		Anteil von 50 % an der Gesamtfahrleistung	

Tabelle 3
Aktueller Energiemix im Verkehrsbereich und langfristige Prognose für 2050

Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, entfällt 2050 ein Drittel der Biokraftstoffe auf Biodiesel und Bioethanol. Beim Anbau von öl-, stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen (Raps, Sonnenblumen, Getreide, Kartoffeln und Rüben) für Biokraftstoffe der sogenannten ersten Generation findet in der Regel eine gekoppelte Produktion von Energieträgern und Futtermitteln statt. So entsteht zum Beispiel bei der Verarbeitung von Rapskörnern zu etwa einem Drittel Pflanzenöl, das zu Biodiesel weiter verarbeitet werden kann, und zu etwa zwei Dritteln hochwertiges Eiweißfutter. Ferner verbleibt das Rapsstroh auf dem Acker und verbessert die Humusbilanz des Bodens. Diese Aspekte werden in der Debatte über Bioenergieträger vielfach übersehen, was in der Formel „Teller oder Tank“ zum Ausdruck kommt. Das Beispiel verdeutlicht jedoch, dass die Produktion von Biokraftstoffen der ersten Generation als Teil der konventionellen Landwirtschaft gesehen werden muss und gleichzeitig Grundlage der Nahrungsmittelproduktion ist.

Die Biokraftstoffproduktion der sogenannten zweiten Generation (Biomass to liquid) verwendet – wie die Biogasproduktion – entweder das gesamte Pflanzenmaterial oder Reststoffe aus der Landwirtschaft, wie Stroh und Blätter. Sie ist heute noch nicht technisch ausgereift und marktfähig, soll in Zukunft jedoch mit fast 10 Prozent zur Kraftstoffversorgung beitragen.

Durch die Gewinnung von EE-Wasserstoff durch Wasserelektrolyse soll in Zeiten eines Überangebots an Wind- und Solarstrom Energie aus dem elektrischen System herausgenommen werden. Da die Rückführung der Energie mit hohen Verlusten

verbunden wäre, bietet es sich an, das Gas als Kraftstoff zu nutzen. Brennstoffzellenfahrzeuge benötigen nur 10-20 kWh Energie (0,35-0,7 kg Wasserstoff) auf 100 km, so dass unter Berücksichtigung der Umwandlungsverluste von Strom zu Wasserstoff von etwa 50 Prozent im Mittel rund 30 kWh primärer Wind- oder Solarstrom auf 100 km erforderlich sind. Die Entwicklung marktfähiger Brennstoffzellenfahrzeuge als besondere Form des Elektroantriebs, bei dem die benötigte elektrische Energie aus Wasserstoff in der Brennstoffzelle erzeugt und in einer Batterie zwischengespeichert wird, steht jedoch erst am Anfang der Entwicklung. In der Prognose für 2050 trägt das Überangebot an Strom aus Wind- und Solarenergie rund ein Fünftel des Energiebedarfs im Verkehrsbereich. Es ist in Tabelle 4 nicht enthalten.

4. Strom

Auf den Stromsektor entfielen im Jahr 2011 mit 613 TWh lediglich 23 Prozent des gesamten Bruttoendenergiebedarfs. In Zukunft wird der Stromverbrauch für Elektrofahrzeuge hier mit enthalten sein, so dass die enormen Einspareffekte über moderne Elektrogeräte und Leuchtmittel in Privathaushalten durch den Bedarf für Mobilitätszwecke aufgezehrt werden. Hinzu kommt ein stark ansteigender Stromverbrauch für Wärme- und Umwälzpumpen durch den Ausbau der Solar- und Geothermie im Wärmebereich (siehe Tabelle 2). Dies führt dazu, dass der Stromverbrauch bis 2050 nur unwesentlich auf 584 TWh sinkt (siehe Tabelle 4) und dann einen Anteil von 36 Prozent am Bruttoendenergiebedarf hat.

Erzeugungsquelle		2011	Anteil	2050	Anteil
fossile (und atomare) Erzeugung		489 TWh	80 %	150 TWh	26 %
Erneuerbare Energien, davon		124 TWh	20 %	434 TWh	74 %
• Windenergie	> onshore	48 TWh	8 %	135 TWh	23 %
	> offshore	< 1 TWh	0 %	131 TWh	23 %
• Photovoltaik		19 TWh	3 %	65 TWh	11 %
• Biomasse	> Biogas	21 TWh	3 %	28 TWh	5 %
	> Holz	12 TWh	2 %	25 TWh	4 %
	> Bioabfall	5 TWh	1 %	6 TWh	1 %
• Wasserkraft		18 TWh	3 %	25 TWh	4 %
• Geothermie				19 TWh	3 %
Summe (= Bruttoenergieverbrauch einschließlich Strom zur Mobilität)	613 TWh		584 TWh		

Tabelle 4
Aktueller Energiemix im Strombereich und langfristige Prognose für 2050

Am 31. Dezember 2012 waren bundesweit 22 886 Windenergieanlagen (WEA) mit einer installierten Gesamtleistung von 31,5 Gigawatt an Land in Betrieb. Allein im Jahr 2012 kamen 982 neue Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von 2,4 Gigawatt hinzu, davon mehr als 20 Prozent (210 WEA) im Zuge des Repowering bei gleichzeitigem Abbau von 325 kleineren Altanlagen. Die Zahlen verdeutlichen, dass die ambitionierten Ziele zur Umsetzung der Energiewende nur durch einen weiteren, massiven Ausbau der Windenergienutzung zu erreichen sind: In zehn Jahren muss die Anzahl der Windenergieanlagen an Land verdoppelt und bis zum Jahr 2050 nahezu vervierfacht werden. Die dann rund 100 000 Windenergieanlagen haben zwar einen markanten Einfluss auf das Landschaftsbild, benötigen jedoch im Mittel für das Fundament und die befestigte Zuwegung nur eine versiegelte Fläche von 0,4 ha/WEA, also insgesamt rund 40.000 ha bzw. 2 Promille der landwirtschaftlichen Nutzfläche von insgesamt 18,2 Mio. ha. Unterhalb der Anlagen, in der sogenannten Freihaltefläche von durchschnittlich 15 ha/WEA kann die landwirtschaftliche Nutzung ungehindert fortgeführt werden (vgl. Thiemann 2013). Die Standortsteuerung ist vor allem Aufgabe der Regional- und Bauleitplanung (hierzu weiterführend Kötter et. al. 2013; Schumann und Thiemann 2012).

In Deutschland gibt es gegenwärtig rund 1 Mio. Solarthermie- und Photovoltaik-Anlagen an und auf Gebäuden mit einer Fläche von 12 500 ha. Hinzu kommen Freiflächenphotovoltaikanlagen auf einer Fläche von rund 2 500 ha. Die gebäudebezogenen Anlagen prägen inzwischen die Ortsbilder und werden zunehmend auch in historischen Ortskernen und denkmalgeschützten Bereichen akzeptiert. Als zusätzliche Privilegierung ist unter § 35 Abs. 1 Nr. 8 BauGB mit der Klimaschutznovelle im Jahre 2011 die Nutzung solarer Strahlungsenergie an und auf den Dach- und Außenwandflächen von zulässigerweise genutzten Gebäuden eingeführt worden, wenn die jeweilige Anlage dem Gebäude baulich untergeordnet ist. Damit können im Außenbereich nun insbesondere auf den meist großflächigen Dächern landwirtschaftlich genutzter Gebäude Photovoltaikanlagen ohne

weiteres errichtet werden. Seit Juli 2010 wird für neue Freiflächenanlagen nur noch eine Einspeisevergütung gezahlt, wenn sie sich auf wirtschaftlichen oder militärischen Konversionsflächen oder in den 110 m-Korridoren entlang der Autobahnen und Schienenwege befinden (§ 32 EEG). Hierdurch wurde die Errichtung auf Acker- und Grünlandflächen in der freien Landschaft weitgehend gestoppt (vgl. Thiemann 2012).

Wie Tabelle 4 zeigt, liefert die Solarenergie im Jahr 2050 mit 65 TWh rund 11 Prozent der Stromerzeugung. Unter Berücksichtigung der Leistungssteigerung der Solarzellen durch den technischen Fortschritt wird dafür eine Fläche von rund 37 500 ha notwendig sein. Im Potenzialatlas Deutschland aus dem Jahr 2010 ist die geeignete Dachfläche für Solaranlagen mit insgesamt 234 400 ha angegeben. Berücksichtigt man hierbei auch den Bedarf von rund 29 500 ha für Solarthermieanlagen im Jahr 2050 (15 000 ha Einzel- und 14 500 ha Nahwärmeanlagen) und den Abriss von Gebäuden im Zuge des Stadt- und Dorfumbaus, steht mit über 200 000 ha immer noch ein Vielfaches mehr an geeigneten Dachflächen zur Verfügung, als für Photovoltaikanlagen benötigt wird (vgl. Temmler 2013). Dies spricht dafür, die Freiflächenutzung auch in Zukunft weiterhin sehr restriktiv zu handhaben.

Biogas aus Biomasse trägt zurzeit mehr als die Photovoltaik zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bei. Absolut betrachtet wird ihr Anteil von gegenwärtig 21 TWh bis 2030 nur noch moderat auf 28 TWh anwachsen. Danach sind die Landflächen- und Reststoffpotenziale zur Bioenergieerzeugung weitgehend ausgenutzt, so dass bei gleichbleibendem absoluten Anteil die relative Bedeutung bis 2050 im Vergleich zu den anderen EE-Quellen stark abnimmt.

Schwien hat 2013 im Landkreis Ostholstein als repräsentative Region für Deutschland die Biogasnutzung evaluiert (siehe Tabelle 5). Danach ist festzustellen, dass die sogenannte Vermaisung der Landschaft kein nennenswertes Problem darstellt. Nur im Westen von Schleswig-Holstein sowie im Nordwesten

*Tabelle 5
Biogasanlagen im
Landkreis Ostholstein
nach Schwien (2013),
E = Belieferung mit
Substraten aus dem
eigenen Betrieb*

Lfd. Nr. der Anlage	Reststoffanteil		Energiepflanzen		Anzahl der Zulieferer	Fläche
	Gülle	Mist	Mais	andere		
1			98 %	2 %	E + 6	270 ha
2	33 %		66 %	1 %	E	300 ha
3		15 %	85 %		6	180 ha
4	30 %	30 %	30 %	10 %	E	130 ha
5			100 %		4	200 ha
6	1 %		80 %	19 %	E + 1	270 ha
7	30 %	1 %	68 %	1 %	6	250 ha
8	33 %	7,5 %	52 %	7,5 %	12	200 ha
9	35 %		33 %	32 %	E	160 ha
10		90 %	10 %		E	20 ha
11	31 %	12 %	50 %	7 %	E + 1	100 ha
12	31 %	4 %	65 %		9	138 ha
Mittel	19 %	13 %	61 %	7 %		185 ha

von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen hat der Maisanbau zur Biogaserzeugung signifikant zugenommen. Wie Tabelle 5 zeigt, wird der Mais zunehmend durch anderes Pflanzenmaterial (Triticale, Getreide, Gras, Rüben) ergänzt oder durch landwirtschaftliche Reststoffe (Gülle und Mist) ersetzt.

Im Zuge der Bemühungen um eine verstärkte Holzmobilisierung, vor allem im Klein- und Kleinstprivatwald, wird auch die energetische Holzverwertung ansteigen. Dies betrifft zum einen die Eigenverwertung für Heizzwecke und zum anderen die Verstromung in Holzheizkraftwerken, deren Leistung sich bis 2050 verdoppeln wird.

Die Wasserkraftpotenziale sind in Deutschland weitgehend ausgeschöpft. Ein weiterer Ausbau der Wasserkraftnutzung ist bis 2050 aus ökologischen Gründen nur sehr begrenzt möglich. Ebenso spielt die Nutzung der Geothermie, insbesondere der Tiefengeothermie auch in Zukunft für die Stromerzeugung nur eine untergeordnete Rolle. Auf die geologischen Risiken, wie sie am Beispiel der Stadt Staufen im Breisgau schmerzlich deutlich wurden, soll hier nicht weiter eingegangen werden.

5. Flächenpotenzial für nachwachsende Rohstoffe

In Deutschland wurden nach Angaben der FNR im Jahr 2012 insg. 2,526 Mio. ha für nachwachsende Rohstoffe genutzt. Hier-von entfallen 0,402 Mio. ha auf Industriepflanzen, insbesondere Stärke (0,245 Mio. ha) und technisches Rapsöl (0,120 Mio. ha), und 2,124 Mio. ha auf Energiepflanzen. Letztere gliedern sich wie folgt:

- Pflanzen für Biogas 0,962 Mio. ha,
- Raps für Biodiesel 0,913 Mio. ha,
- Stärkepflanzen und Zuckerrüben für Bioethanol 0,243 Mio. ha,
- Pflanzen für Festbrennstoffe (Agrarholz, Miscanthus) 0,006 Mio. ha.

Dies entspricht in etwa dem Stilllegungssatz von 15 Prozent im Anbaujahr 1993/94, als die obligatorische Flächenstilllegung zur Senkung der Überproduktion eingeführt wurde. In den Folgejahren wurde der Satz ständig der Nachfrage angepasst, im Erntejahr 2008 erstmals ausgesetzt und ab 2009 ganz abgeschafft, um dem zunehmenden Flächenbedarf für nachwachsenden Rohstoffe gerecht zu werden. Hieraus erklärt sich, dass das Pachtpreinsniveau zwar gestiegen ist, es aber keine Flächenverknappung gegeben hat und der Selbstversorgungsgrad von knapp über 100 Prozent bei den wichtigsten Grundnahrungsmitteln gehalten werden konnte, wie es das agrarpolitische Ziel ist.

Im Jahr 2012 betrug die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland 16,6 Mio. ha für Acker (11,8 Mio. ha), Grünland (4,6 Mio. ha) und Dauerkulturen, wie Obst, Wein und Hopfen (0,2 Mio. ha). Zieht man hiervon die Flächen für nachwachsende Rohstoffe im Umfang von 2,5 Mio. ha ab, verbleiben 14,1

Mio. ha für Nahrungs- und Futterpflanzen. Unterstellt man nach vorsichtigen Schätzungen bis 2050 einen Bevölkerungsrückgang von 12 Prozent, eine Ertragssteigerung im Landbau von nur 10 Prozent und eine Ernährungsumstellung in der Bevölkerung mit einem Fleischverzicht von 10 Prozent, der sich allerdings nur auf die Flächen für Futterpflanzen auswirkt, ergibt sich ein freies Flächenpotenzial von 3,9 Mio. ha bisher landwirtschaftlich genutzter Flächen, das nicht mehr zur Ernährung benötigt wird. Gelingt es, den sogenannten Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr, wie in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie vorgesehen, ab 2020 auf rund 30 ha pro Tag zu begrenzen, werden bis 2050 weitere 0,4 Mio. ha landwirtschaftlich genutzte Flächen für diese Zwecke umgewidmet werden. Hierdurch reduziert sich das Flächenpotenzial auf 3,5 Mio. ha. Mit den schon vorhandenen 2,5 Mio. ha für nachwachsende Rohstoffe stehen damit im Jahr 2050 Flächen im Umfang von insgesamt 6 Mio. ha zur Verfügung, die für Industrie- und Energiepflanzen genutzt werden können.

Die oben genannte Studie „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“ vom 29. März 2012 geht im etablierten Szenario 2011 A von einem Flächenbedarf für Energiepflanzen im Umfang von 4,2 Mio. ha aus. Dieser gliedert sich wie folgt:

- Rüben-, Öl- und Stärkepflanzenanbau für Biokraftstoffe 2,3 Mio. ha,
- Biomasseanbau für die Biogaserzeugung 1,0 Mio. ha,
- Agrarholzanbau (Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme) für biogene Festbrennstoffe und die Biogaserzeugung 0,9 Mio. ha.

Dabei ist zu beachten, dass beim Anbau für Biokraftstoffe in der Regel eine gekoppelte Produktion von Energieträgern und Futtermitteln stattfindet, so dass das Flächenpotenzial vergrößert wird. Auch unter Berücksichtigung der Industriepflanzen dürften damit die verfügbaren Anbauflächen für Nahrungs- und Futtermittel einerseits und nachwachsende Rohstoffe andererseits ausreichen.

6. Fazit

Die Energiewende hat erhebliche Auswirkungen auf das Erscheinungsbild der Kulturlandschaft. Bis 2050 wird sich die Anzahl der Windräder in der freien Landschaft vervierfachen und die von Solarthermie- und Photovoltaikanlagen belegte Dachfläche in den Dörfern und Städten verfünffachen. Während die gegenwärtige Generation dies überwiegend als hässlich empfindet (Verspargelung und Verspiegelung der Landschaft), werden die nachfolgenden Generationen mit diesen Landschaften aufwachsen, sie als ihre Heimat annehmen und damit auch als landschaftsästhetisch ansprechend empfinden. Temmler (2013) kommt diesbezüglich zu der ethischen Forderung, dass man auf der Grundlage der Verantwortung für die kommenden Generati-

onen von der heutigen Gesellschaft erwarten darf und muss, dass sie die Veränderungen in der Kulturlandschaft vor dem Hintergrund des zwingend notwendigen Klimaschutzes akzeptiert und die Energiewende nicht vermeintlich schöner Landschaften wegen blockiert oder gar zum Scheitern bringt.

In den Agrarlandschaften wird sich der Biomasseanbau auf einem Niveau von rund 1 Mio. ha einpendeln, da einerseits die Ausbaumöglichkeiten mittelfristig erreicht werden und andererseits auch zunehmend Reststoffe und Agrarholz genutzt werden. Überdies stellt der Maisanbau (die sogenannte Vermaisung der Landschaft) nur im Nordwesten Deutschlands ein Problem dar, das durch alternative Kulturpflanzen, wie Futterrüben, Zweikulturnutzung (Roggen und Hirse) oder Durchwachsene Silphie,

mit ähnlich hohen Methanerträgen von rund 5 000 m³ je ha abgemildert werden kann.

Der Landbau für die Biokraftstoffproduktion, der im Gegensatz zum Biomasseanbau noch erheblich zunehmen wird, und die dafür verwendeten Kulturpflanzen (Raps, Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben) unterscheiden sich nicht von der bisherigen konventionellen Landwirtschaft. Für den Flurholzanbau, der zurzeit nur 6.500 ha umfasst, wird in Form von Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsystemen eine Renaissance prognostiziert. Er führt infolge der extensiven Niederwald- und Heckenbewirtschaftung zu einer ästhetischen und ökologischen Bereicherung der Agrarlandschaften.

Literaturverzeichnis

- Gerdes, H.-L., Harnischfeger, A., Klaus, M., Perzl, W., Schumann, M., Thiemann, K.-H. (2010): Klimawandel und Landnutzung in Deutschland – Anforderungen an die Landentwicklung. Schriftenreihe des DVW, Band 65.
- Hinz, S. A. (2012): Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie der UniBw M, Heft 89.
- Kötter, T., Berendt, L., Christ, B., Drees, A., Kropp, S., Linke, H. J., Lorig, A., Reuter, F., Strotkamp, H.-J., Thiemann, K.-H. und Voß, W. (2013): Standortsteuerung und Flächenmanagement für Windenergieanlagen – Der Beitrag des Land- und Immobilienmanagements zur Energiewende. In: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv) 138 (4), S. 275.-287.
- Nitsch, J. et al. (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – Institut für Technische Thermodynamik, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE).
- Schumann, M., Thiemann, K.-H. (2012): Ländliche Bodenordnung zur Unterstützung der Energiewende. In: Klärle, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien unterstützt durch GIS und Landmanagement. VDE-Verlag, Berlin/Offenbach, S. 142-166.
- Schwien, J. (2013): Auswirkungen der Biogasanlagen auf die Landnutzung und Landentwicklung sowie Steuerungsmöglichkeiten der Raumplanung am Beispiel des Landkreises Ostholstein. Masterarbeit, Universität der Bundeswehr München – Professur für Landmanagement.
- Temmler, M. (2013): Auswirkungen der Energiewende auf die Landnutzung in Deutschland. Masterarbeit, Universität der Bundeswehr München – Professur für Landmanagement.
- Thiemann, K.-H. (2012): Die ländliche Bodenordnung als Baustein der Energiewende. In: Recht der Landwirtschaft (RdL) 64 (10), S. 261-263.
- Thiemann, K.-H. (2013): Wertermittlung im Kontext der Windenergienutzung. In: Recht der Landwirtschaft (RdL) 65 (10), S. 261-263.

Nachhaltige Wasserbewirtschaftung am Tarim Fluss in Nordwest China



Prof. Dr.-Ing. Markus Disse

Prof. Markus Disse (*1963) studierte Bauingenieurwesen an den Universitäten Hannover und Karlsruhe. Er war für sieben Jahre wissenschaftlicher Assistent am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft bei Prof. Dr.-Ing. Dr. E.h. Plate. An der Universität Karlsruhe legte er 1995 seine Promotion über Grundwasserneubildung und Gebietsverdunstung ab. Anschließend arbeitete er an der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz. Seine Forschungstätigkeiten an der BfG lagen in der Gewässermorphologie und der Hochwassermodellierung. Im Jahre 2003 nahm Disse einen Ruf an die Universität der Bundeswehr München an und übernahm die Professur für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz. 2011 forschte er an der University of Arizona (Tucson) im Department of Hydrology and Water Resources im Rahmen eines Freisemesters. Im Juli 2013 folgte er einem Ruf an die TUM (Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement).

E-Mail: markus.disse@tum.de



Dipl.-Ing. Patrick Keilholz

Patrick Keilholz (*1979) studierte Bauingenieurwesen an der Fachhochschule Lübeck. Er war für fünf Jahre wissenschaftlicher Assistent am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft bei Prof. Dr.-Ing. Markus Disse an der Universität der Bundeswehr München. Im Oktober 2013 folgte er Prof. Dr.-Ing. Markus Disse an die Technische Universität München (Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement), um dort seine Promotion abzuschließen. Die Promotion behandelt das Thema des Einflusses von periodischen Flusshochwasser und Bewässerungsgebieten auf die Grundwasserneubildung sowie die natürliche Auwaldvegetation in der Flussoase Yengibazar am Tarim (China).

E-Mail: patrick.keilholz@unibw.de

Zusammenfassung

Der Tarim-Fluss im äußersten Nordwesten Chinas erstreckt sich entlang des nördlichen Randes der Taklamakan-Wüste und erhält seine wesentlichen Zuflüsse aus den umliegenden zentralasiatischen Gebirgen. Die aktuelle Wasserbewirtschaftung der Flussoasen wird nicht von ressourcenschonenden Kriterien geprägt, so dass in der Region massive Umwelt- und soziale Probleme entstanden sind. So sind große Teile der landwirtschaftlich

genutzten Böden durch Versalzung unbrauchbar geworden, die flussbegleitende Auenvegetation ist stark zurückgegangen und wichtige Ökosystemfunktionen / Ökosystemdienstleistungen (ESF / ESS) wie zum Beispiel die Bereitstellung von unbelastetem Bewässerungswasser oder die Abschwächung von Staub- und Sandstürmen durch die Vegetation sind inzwischen stark eingeschränkt oder völlig verloren gegangen. Die chinesische Regierung hat dieses ökologisch-ökonomische Problem inzwischen erkannt und bemüht sich bisher um kurzfristige technische

Lösungen. Es fehlen allerdings nachhaltige Ansätze und Maßnahmen, die das gesamte land- und wasserwirtschaftliche System mit seinen ESF / ESS integral betrachten. An diesem Punkt setzt das beantragte BMBF-Projekt SuMaRiO an, das eine nachhaltige Bewirtschaftung der Bewässerungs- und Auenflächen entlang des Tarim in den Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten stellt. Im Einzelnen sollen folgenden Ziele erreicht werden:

- Bestmögliche nachhaltige Entwicklung der ESF/ESS der landwirtschaftlich genutzten Flächen, des Tarim und der angrenzenden Auwälder,
- Optimierung des ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Nutzens und
- Erstellung von (internetbasierten) Werkzeugen und Maßnahmen für die chinesischen Entscheidungsträger, die die ökologischen und sozio-ökonomischen Konsequenzen ihrer Entscheidungen mit ihren quantitativen Dimensionen aufzeigen und im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Landmanagements bewerten.

Das hydrologische Teilprojekt innerhalb des Verbundvorhabens SuMaRiO (www.sumario.de) beschäftigt sich mit der Frage, welche Bedeutung die regelmäßigen Hochwasser des Tarim für die Vitalität der Auwälder haben.

Einleitung

Das extrem arid geprägte Tarim-Becken, das fast ausschließlich von der Taklamakan-Wüste – der zweitgrößten Sandwüste der Welt – eingenommen wird, ist mit seinen Ökosystemen einzigartig auf der Welt. Das abflusslose Becken wird von großen Flüssen durchzogen, an denen sich das Leben gebildet hat. Durch das kontinentale Klima kommt es zu hohen Temperaturschwankungen. Das Tarim-Becken ist vom Hochgebirge des Tian Shan, Pamir und Kunlun Shan abgeschirmt, wodurch so gut wie keine Niederschläge (< 50 mm/a) die Region erreichen. Trotz dieser lebensfeindlichen Bedingungen haben sich in der Region zahlreiche Oasen an den Flüssen entwickelt. Der größte Fluss ist der Tarim, der nur durch die Gletscher- und Schmelzwasser des Tian Shan und des Pamir mit Wasser versorgt wird. Der Tarim beginnt in den Oasen Aksu und Alar durch den Zusammenfluss des Aksu, Jarkant und Hotan. Er windet sich am Fuße des Tian Shan ostwärts und endete vor einigen Jahren noch gemeinsam mit dem aus Südwesten kommenden Qarqan im Tetema-Endsee, am Südost-Rand der Taklamakan-Wüste. In wasserreichen Zeiten konnte es auch vorkommen, dass beide Flüsse zusammen bis in den See Lop Nur flossen, und diesen gemeinsam mit dem Konqi füllten. Dieses ist aber Geschichte, denn aufgrund der hohen Wasserentnahmen im Ober- und Mittellauf wird selbst der Tetema-Endsee heute nicht mehr erreicht.

Durch den Klimawandel kommt es in den Gebirgen zu einem verstärkten Abschmelzen der Gletscher, wodurch derzeit mehr Wasser dem Fluss zufließt. Wenn jedoch in Zukunft die Gletscher abgeschmolzen sind, dann ist langfristig die Wasserversorgung des Tarim stark gefährdet. Hinzu kommt, dass die Oasen

entlang des Flusses zu viel Wasser entnehmen, wodurch der Tarim heute einige hundert Kilometer vor seinem ursprünglichen Endsee versiegt. Durch die starke und oft falsche Bewässerung kommt es in den Oasen zu extremer Versalzung der Flächen. Im Tarim-Becken leben ca. 10 Mio. Menschen, die von der Agrarwirtschaft, insbesondere dem Baumwollanbau, stark abhängig sind. Durch die hydrologische, ökonomische und demographische Entwicklung sind die Oasen und Ökosysteme entlang des Tarim außerordentlich gefährdet, so dass ein nachhaltiges Landnutzungs- und Wassermanagement dringend erforderlich ist.

Entwicklung der Oasen im Tarim Becken

Die Region des Tarim-Beckens hat eine lange Geschichte, die allerdings erst wenig erforscht ist. In früherer Zeit war das Gebiet des heutigen Xinjiang der Knotenpunkt zwischen China und der Persischen Welt, der durch die Seidenstraße verbunden wurde. Diese alte Handelsstraße folgte im Tarim-Becken zwei Routen, einer nördlichen (Kashgar – Aksu – Kucha – Korla – Loulan – Dunhuang) und einer südlichen (Kashgar – Jarkant – Hotan – Niya – Qarqan – Dunhuang). Die historische Bewältigung der Taklamakan-Wüste mit Karawanen war nur durch die Oasen möglich, die wie eine Perlenkette die Routen der Seidenstraße markieren.

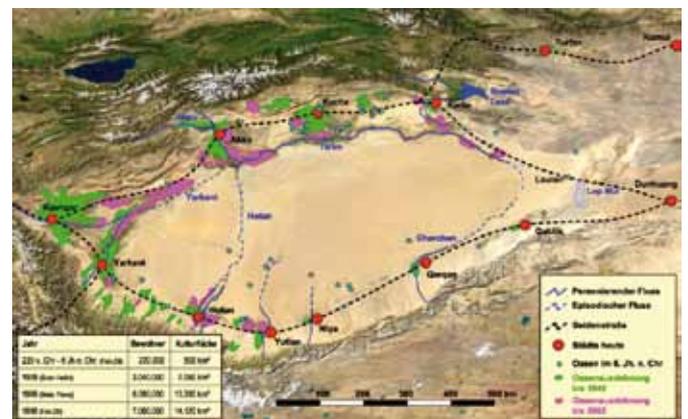


Abbildung 1
Ausdehnung der Oasen im Tarim-Becken (NASA-MODIS)

Im 6. Jahrhundert besiedelten lediglich ca. 220.000 Menschen die Region (FAN ZILI et al. 2002). Obwohl bekannt ist, dass bereits zu dieser Zeit die Bewohner Experten im Anlegen von Bewässerungssystemen waren, hatten die Oasen nur eine verhältnismäßig geringe Größe. Ein erster Impuls für die Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen erfolgte durch die industrielle Revolution. Mit der Erfindung der industriellen Spinnmaschine im späten 18. Jahrhundert wurde die Baumwollverarbeitung industrialisiert. Weil im Tarim-Becken durch die hohen Temperaturen optimale Bedingungen für den Baumwoll-

anbau bestehen, wurde verstärkt diese wasserzehrende Pflanze angebaut. Bis zum Jahr 1949 dehnte sich die Bevölkerung von 220.000 Menschen auf ca. 3 Millionen aus. Damit verbunden wuchsen die kultivierten Flächen auf 7.060 km² an und eine Wassermenge von 15-19 Milliarden m³/Jahr wurde für die Bewässerung verwendet. Damit wurden zu dieser Zeit bereits 40-50 Prozent des Oberflächenwassers für die Bewässerung benutzt.

Bis in die heutige Zeit (1990) haben sich die Oasen noch weiter ausgedehnt. Insgesamt werden im Tarim-Becken 14.120 km² landwirtschaftlich genutzt, was einer Wassermenge von 25-30 Milliarden m³/Jahr entspricht. Die Folgen sind zum einen, dass 70-80 Prozent des gesamten Wasserdargebots für die Bewässerung verwendet werden. Zum anderen bewirkt der hohe Wasserkonsum, dass die Versalzung der Flächen stark voranschreitet. Heute leben in der Region ca. 10 Millionen Menschen und ca. 25 Prozent der Bauwollproduktion in China sind in Xinjiang angesiedelt.

Die Gefährdung der Ökosysteme

Die Lebensader für die Oasen ist die Wasserversorgung durch den Tarim, dessen Wasser über den Aksu aus den Gebirgsregionen des Tian Shan, den Jarkant aus den Gebirgsregionen des Pamir und den von Süden kommenden Hotan bereitgestellt wird. Allerdings liefert nur der Aksu ganzjährig Wasser, die anderen beiden Flüsse erreichen nur bei Hochwasser den Tarim.

Das Wasser wird von zwei unterschiedlichen Nutzern benötigt. Zum einen gibt es den anthropogenen Wasserbedarf, der sich aus der Landwirtschaft und der Wasserversorgung der Städte und Industrien zusammensetzt, zum anderen den natürlichen Wasserbedarf, der besonders durch die Auwälder entlang des Tarim vorhanden ist.

Die Auwälder bestehen überwiegend aus zwei Pappelarten, der *Populus euphratica* und der *Populus pruinosa*. Entlang des Flussbettes wächst verstärkt Schilf (*Phragmites australis*) und mit zunehmender Entfernung vom Fluss, wo die Lebensbedingungen für die Vegetation schwieriger werden, wachsen Tamarix-Arten, zumeist *Tamarix ramosissima*. Alle Pflanzen beziehen ihr Wasser aus dem Grundwasser, das durch den Tarim gespeist wird. Die Auwälder haben eine wichtige Funktion für das Ökosystem Tarim. Sie bilden einen natürlichen Schutzstreifen, der Sandverwehungen aus der Wüste zurückhält, Biomasse für die Bevölkerung liefert und das Entstehen von Staubstürmen verringert (DISSE et al., 2010).

Besonders im Ober- und Mittellauf haben sich große Agrargebiete gebildet, die einen Großteil des Flusswassers, inzwischen aber auch Grundwasser, zur Bewässerung entnehmen. In der Bewässerungstechnik zeigen sich zum Teil große Defizite. So herrschen in den Bewässerungskanälen Wasserverluste von

bis zu 59 Prozent (GIESE et al. 2005). Die Tröpfchenbewässerung wird nur auf wenigen Flächen angewendet und die Felddrainagen sind oftmals unzureichend eingebaut, so dass die Böden der Felder schnell versalzen. Problematisch ist auch, dass es kein überregionales Wassernutzungskonzept für den Tarim gibt. So kommt es vor, dass im Oberlauf zu viel Wasser für die Bewässerung entnommen wird, das den Unterliegern in den Oasen des Mittel- und Unterlaufs des Tarim fehlt. Ein weiteres Problem stellt die Wasserqualität dar. Das durch die Bewässerung verwendete Wasser, das eine erhöhte Salz- und Schadstoffkonzentration hat, wird wieder in den Tarim zurückgeleitet, so dass sich entlang des Flusslaufs die Wasserqualität stark verschlechtert. Dies hat wiederum eine negative Wirkung auf die Auwälder und die Oasen im Mittel- und Unterlauf des Tarim. Ein Beispiel für die Wasserqualität zeigt sich bei den Fischen, die für die Urbevölkerung, die Lopliks, eine der Hauptversorgungsquellen waren. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts konnte noch eine große Fischpopulation im Unterlauf des Tarim und sogar im zeitweise wasserführenden Lop Nur beobachtet werden (HEDIN 1963). Durch die heutige Verschlechterung der Wasserqualität ist der Lebensraum für Fische nahezu komplett zerstört.

Seit den 1980er Jahren wird bedingt durch den Klimawandel ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur verzeichnet (s. Abbildung 2). Dadurch kommt es in den Gebirgsregionen zu einem erhöhten Schmelzen der Gletscher, was zur Folge hat, dass der Abfluss in den Zuflüssen des Aksus und des Jarkants eine Steigerung erfahren hat (s. Abbildung 3). Allerdings wird das zusätzliche Wasser bereits im Oberlauf des Tarim für neue Bewässerungsprojekte aufgebraucht. Wenn sich der erwartete Trend fortsetzt, werden Ende des 21. Jahrhunderts die Gletscher soweit abgeschmolzen sein, dass ihr Anteil am Gesamtzufluss des Tarim deutlich geringer wird (BOLCH 2006). Im Wesentlichen werden dann die aktuellen Niederschläge in den Gebirgen den Abfluss dominieren. Dies wird zu einer dramatischen Verringerung des Abflusses im Tarim führen.

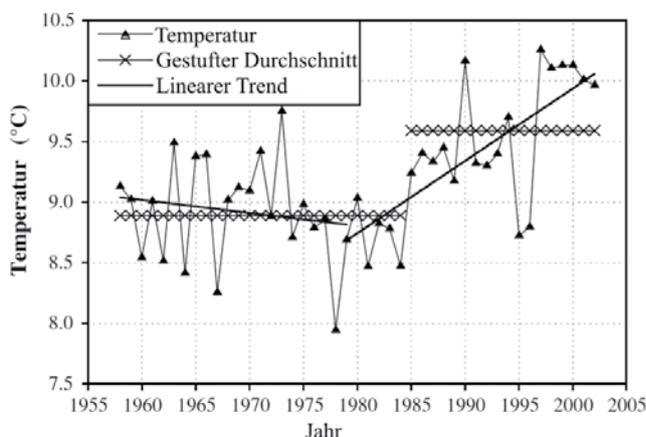


Abbildung 2
Anstieg der mittleren Jahrestemperatur (CHEN 2009)

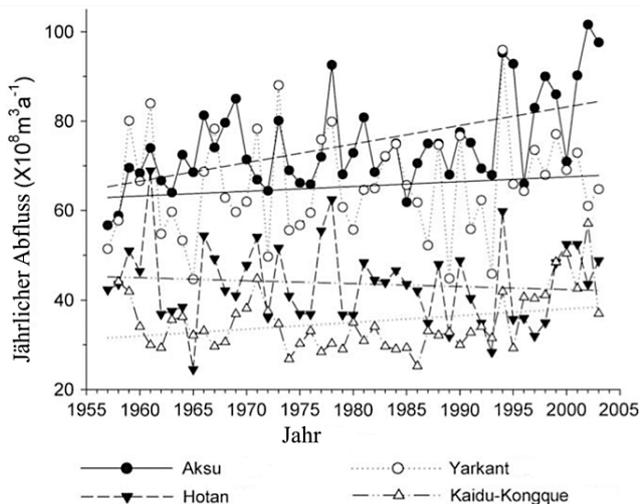


Abbildung 3
Veränderung der jährlichen Abflüsse in den Tarim-Zuflüssen
(CHEN 2009)

Der Weg zu einer nachhaltigen Landnutzung

So pessimistisch die Aussichten für den Tarim mit seinen Ökosystemen und der Landwirtschaft auch sind, so gibt es bereits einige Projekte, die Verbesserungen der wasserwirtschaftlichen und ökologischen Situation herbeiführen wollen.

Von chinesischer Seite wurde 2001 ein Renaturierungsprojekt des Tarim begonnen. Das Projekt, das mit einem Budget von 1,7 Mrd. USD nicht nur ökologische, sondern auch politische, soziale und verkehrsbedingte Probleme behandelt, hat allerdings nur mäßigen Erfolg. In den Oasen des Oberlaufs wird verstärkt die wassersparende Bewässerung der Tröpfchenbewässerung mit recycelbaren Schläuchen eingesetzt, die jedoch nur auf kleinen Flächen durchgeführt wird. Im Mittellauf wurde der Tarim kanalisiert, was das Ziel haben sollte, die Sickerverluste in diesem Abschnitt zu verringern. Eine weitere Maßnahme betrifft den Unterlauf, der einmal im Jahr durch eine ökologische Flutung mit Wasser versorgt werden soll. Ziel der ökologischen Flutung ist es, den grünen Korridor, der die Taklamakan-Wüste von der Kuruktag-Wüste trennt, zu erhalten. Die Auwälder haben dabei die wichtige Funktion, Sandstürme zu verringern, die die Straßen unpassierbar machen können (HALIK et al. 2005). Das dafür benötigte Wasservolumen von 0,35 Mrd. m³ wird aus dem Bosten See entnommen und über den Konqi in den Unterlauf geleitet (THEVS 2008).

Das interdisziplinäre deutsch-chinesische Forschungsprojekt SuMaRiO

Im Herbst 2008 wurde vom deutschen Forschungsministerium BMBF die Fördermaßnahme Nachhaltiges Landmanagement ausgeschrieben. Ein Schwerpunkt der Ausschreibung war die

Förderung von Wechselwirkungen zwischen Landmanagement einerseits Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen andererseits. Daraufhin wurde unter der Leitung der Universität der Bundeswehr München ein Konsortium von insgesamt 17 Universitäts- und Forschungsinstituten zusammengestellt und das Verbundprojekt SuMaRiO (Sustainable Management of River Oases along the Tarim River / China) eingereicht und bewilligt.

Das Verbundprojekt verfolgt im Wesentlichen folgende Ziele:

1. Einfluss des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit abschätzen
2. Beziehungen zwischen Auwaldbiodiversität und ihren Ökosystemfunktionen bestimmen
3. Wechselwirkungen zwischen Abfluss / Wasserqualität / Oasenbewirtschaftung und Ökosystemdienstleistungen quantifizieren
4. Traditionelle, hochtechnisierte und alternative Bewirtschaftungsformen evaluieren in Bezug auf ökologische, soziale und ökonomische Aspekte
5. Transdisziplinäre Forschung mit Hilfe von Stakeholder Partizipation durchführen
6. Internet-basierte Werkzeuge zur Hilfestellung bei (landwirtschaftlichen) Managementstrategien aufbauen

Das Tarim-Becken ist prädestiniert für interdisziplinäre Untersuchungen zum nachhaltigen Landmanagement. Die ehemals optimal an die jahreszeitliche Dynamik des Tarim Rivers angepasste Vegetation und die traditionell-nachhaltige Wirtschaftsweise unterliegen nach den massiven land- und wasserwirtschaftlichen Eingriffen erheblichen Veränderungen. Als gravierende ökologische Probleme gelten die bereits erwähnte weitgehende Zerstörung der Ökosysteme im Tarim-Unterlauf, sehr häufige Sandsturmstage, Bodenversalzung, Degradation der Auwälder sowie große Wasserbeschaffungsprobleme.

Diese vielfältigen Probleme verlangen nach komplexen Lösungen, die nur durch integrative Betrachtung und interdisziplinäre Zusammenarbeit erarbeitet werden können. Aus diesem Grund setzt sich das Team des SuMaRiO-Projektes aus Wissenschaftlern zusammen, die den gesamten Bereich der tangierten Disziplinen, also insbesondere Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Raumplanung und Sozioökonomie, vollständig abdecken. Die starke Verzahnung der einzelnen Teilprojekte manifestiert sich dabei zum Beispiel in einem detailliert abgestimmten Datenmanagement und in einem ständigen Austausch zwischen dem Projektmanagement, den (chinesischen) Akteuren und den Teilprojektverantwortlichen.

Im Fokus aller Untersuchungen stehen die Erfassung, Modellierung und Bewertung von Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen, wobei je nach Teilprojekt einer oder mehrere der folgenden Aspekte betrachtet werden:

- Robuste Verfahren zu Analyse / Bewertung
- Abhängigkeit zwischen Klimawandel / Biodiversität / Landmanagement

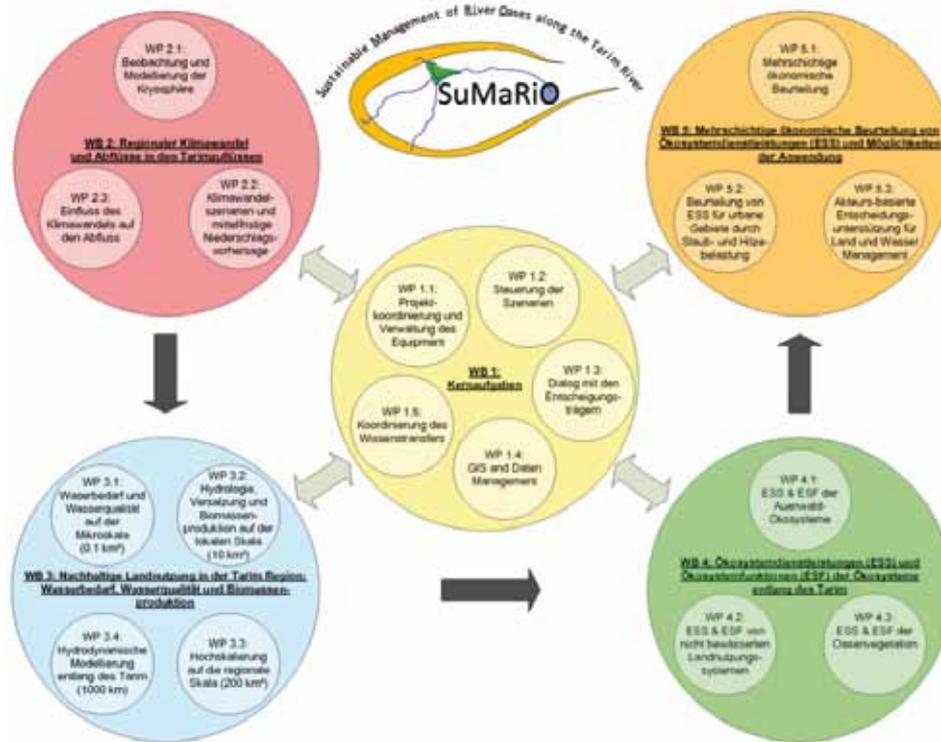


Abbildung 4
Unterteilung von SuMaRiO
in Workblocks (WB) und
Workpackages (WP)

- Analyse raum-zeitlicher Effekte
- Trade-offs und Synergien
- Entwicklung sozioökonomischer Instrumente

Eine Übersicht der Workblocks mit ihrer Untergliederung in Workpackages kann der Abbildung 4 entnommen werden. Hierbei hat Workblock 1 eine zentrale Bedeutung, da hier das GIS-, Daten- und Szenariomanagement zusammenfließen, der Stakeholder-Dialog und der Wissenstransfer organisiert werden sowie die Gesamtkoordination der Teilprojekte einschließlich der Messgerätebeschaffung stattfindet.

Der gewählte wissenschaftliche Gesamtansatz ist integrativ, prognostisch und transdisziplinär. Um die Vernetzung zwischen den Instituten herauszustellen, sind die beteiligten wissenschaftlichen Einrichtungen, die zum Teil mit mehreren Instituten vertreten sind, zusätzlich aufgezählt (in Klammern).

- Integrativ: Es werden in der Gesamtschau alle relevanten Ökosysteme des Gesamtgebietes sektorübergreifend betrachtet, also Hochgebirgsregionen (TU Dresden, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)), Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ), Oasen (Uni Trier, Uni Hohenheim, Uni Greifswald, UniBw München, Uni Frankfurt), Auwälder (Kath. Uni Eichstätt, TU Berlin, Uni Greifswald) sowie Fließgewässer, Seen und Speicher (PIK, UniBw München).
- Prognostisch: In insgesamt sieben der beteiligten Teilprojekte werden Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen nach neuen wissenschaftlichen Methoden modelliert, so dass Aussagen über deren Veränderungen bei veränderten Rahmenbedingungen möglich sind (GFZ, PIK, UniBw München, Uni Hohenheim, Uni Greifswald).

- Transdisziplinär: Wichtige chinesische Partner und Stakeholder sind in die Planungen eingebunden (z. B.: National Climate Centre, China Meteorological Administration, Urumqi and Beijing / Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences / Xinjiang University / CAR-RERI, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou / Tarim River Basin Authority / Xinjiang Water Resources Administration, Urumqi / AKSU Water Resources Administration, AKSU, Xinjiang / Xinjiang Forestry Administration).

Sowohl für die Bewertung der Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen als auch für die Entwicklung von Managementstrategien sind grundlegende Kenntnisse der quantitativen und qualitativen hydrologischen Größen essentiell. So wird bei der Modellierung der Wasser- und Stoffströme auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen gearbeitet, wobei die detailliertere Modellierung als Eingang für die Simulation auf der nächsthöheren Skala dient.

Hydrologische Modellierung in Yengibazar

Die natürlichen Hochwasser am Tarim haben eine wichtige Bedeutung für die Grundwasserneubildung. Da in der Taklamakan-Wüste nur ca. 50 mm Niederschlag pro Jahr fallen, ist die Vegetation ausschließlich auf die Wasserzufuhr über das Grundwasser angewiesen. Der Wasseraustausch zwischen Gewässersohle und Grundwasser ist allein nicht ausreichend, um den Aquifer aufzufüllen. Nur durch die großflächigen Überflutungen des Tarim kann gewährleistet werden, dass die Grundwasserstände im langfristigen Mittel stationär bleiben.

Abbildung 5 zeigt die typische Abfolge von Hoch- und Niedrigwasserzeiten an der Pegelstation Yengibazar im Mittellauf. Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahrzehnten aufgrund des Klimawandels die Hochwasser im Mittel höher ausfallen werden, was – sollten die Agrarflächen nicht weiter anwachsen – zu einer Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Auwälder führen wird (CHEN et al., 2009).

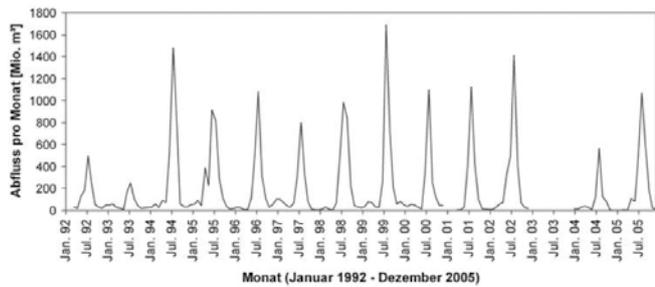


Abbildung 5
Pegel Yengibazar (Tarim Watershed Administration)

Das Untersuchungsgebiet Yengibazar ist ca. 100 km² groß und liegt am Mittellauf des Tarim (siehe Abbildung 6). Große Teile des Gebietes werden vom Tarim Populus Euphratica National Forest Park eingenommen. Neben der natürlichen Auwaldvegetation sind Agrarflächen und am nördlichen Rand des Forschungsgebietes die typische Wüstenvegetation (vorwiegend Tamarixbüsche) vorhanden.

Weite Teile des Untersuchungsgebietes werden im Sommer vom Tarim überschwemmt. Diese Überschwemmungsflächen entstehen sowohl durch direkte Vorlandüberflutung als auch durch die hydraulische Anbindung von Nebengewässern und Altarmen.

In den letzten Jahren sind in dem Gebiet dramatische Landnutzungsänderungen zu beobachten. So haben sich allein zwischen den Jahren 2007 und 2011 die Baumwollflächen von 10,8 km² auf 14,9 km² erhöht, was einer Zunahme von 38 Prozent entspricht. Bedenkt man, dass diese Landnutzungsänderungen in einem Naturreservat stattfinden, so wird die Notwendigkeit eines geregelten, rational begründeten Landmanagements offensichtlich.

Das SuMaRiO-Teilprojekt soll in Yengibazar folgende Forschungsfragen beantworten:

1. Welchen Einfluss haben die Überschwemmungsgebiete auf die Grundwasserneubildung und den Salzgehalt des Grundwassers?
2. Wie verändern die Bewässerungsgebiete den Wasserhaushalt und welche Interaktionen bestehen zwischen Bewässerungsgebieten und der natürlichen Vegetation?

3. Welche Auswirkungen können Landnutzungsänderungen und/oder klimatische Änderungen auf die natürliche Auwaldvegetation haben?

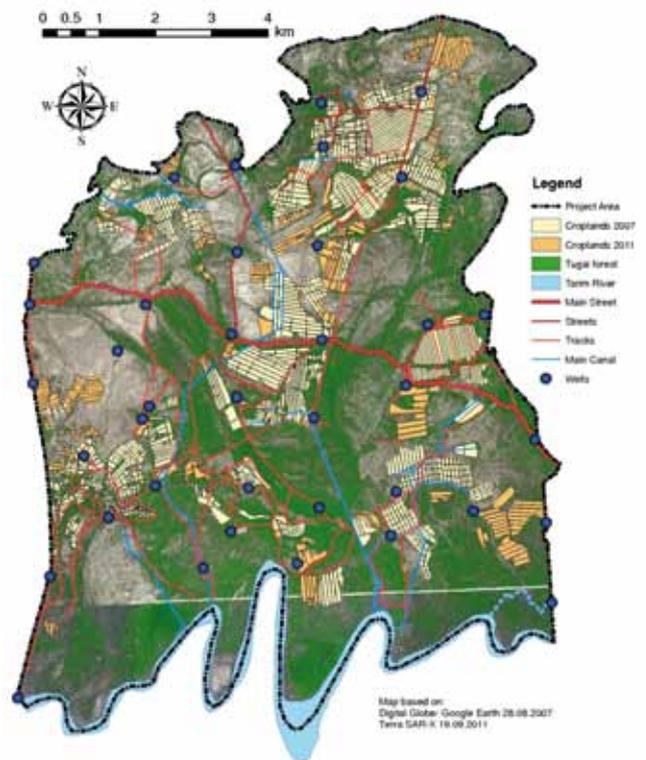


Abbildung 6
Das Projektgebiet Yengibazar

Zur Beantwortung dieser Fragen mussten zunächst Basisdaten erhoben werden. Neben der Installation von 38 Grundwassermessstellen (teilweise mit Leitfähigkeitsmessern ausgestattet, um den Salzgehalt des Grundwassers zu bestimmen) und einer hochaufgelösten Bodenanalyse bis zum Grundwasserleiter musste das Geländemodell mit einer Genauigkeit im Dezimeterbereich bestimmt werden, um die Interaktion Oberflächenwasser – Grundwasser simulieren zu können.

In Abbildung 7 sind verschiedene digitale Geländemodelle unterschiedlicher Genauigkeit abgebildet. Die frei verfügbaren ASTER- bzw. SRTM-1 Satellitendaten mit einer Pixelauflösung von 30 x 30 m sind nicht geeignet, eine konsistente Grundlage für ein hydraulisches Modell zu bieten, weil sich die Überschwemmungen über kleine Gräben, Senken und Altarme ausbreiten. Dadurch können folglich weder Grundwasserflurabstände noch hydraulische Gradienten zwischen Fluss- und Grundwasser berechnet werden. Nur durch die Beauftragung der Firma Digital Globe, die Rasterdaten in einer Auflösung von 8 x 8 m zur Verfügung stellte und stereoskopische Bilder zur Ableitung des

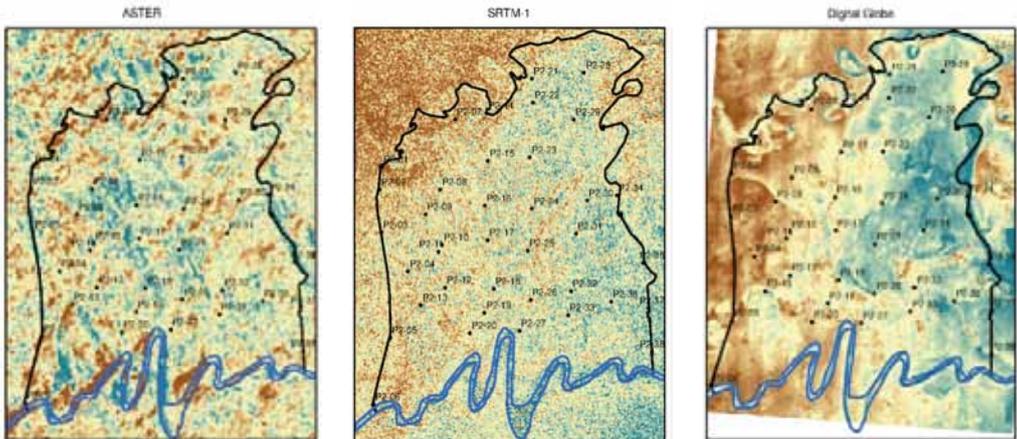


Abbildung 7
Digitale Geländemodelle
(links: ASTER-Daten,
Pixelgröße 30 x 30 m;
Mitte: SRTM-1-Daten,
Pixelgröße 30 x 30 m;
rechts: Digital-Globe-Da-
ten: Pixelgröße 8 x 8 m)

Höhenmodells benutzte, ist eine plausible Geländeoberfläche darstellbar. Zusätzlich wurden alle Grundwassermessstellen mit Differential GPS im Gelände vermessen und die Digital-Globe-Daten mittels Splinefunktionen angepasst. Im Ergebnis erhält man Grundwasseroberflächen, wie sie beispielsweise in Abbildung 8 dargestellt sind (für den 01. Dezember 211).

- a) die Überschwemmungsgebiete zu identifizieren,
- b) Bewässerungsgebiete und Bewässerungskanäle hydraulisch anzuschließen,
- c) die Salzverteilung im Boden zu simulieren und
- d) den Einfluss der aktuellen Evapotranspiration von natürlicher Vegetation und Agrarflächen auf die Grundwasserstände zu ermitteln.

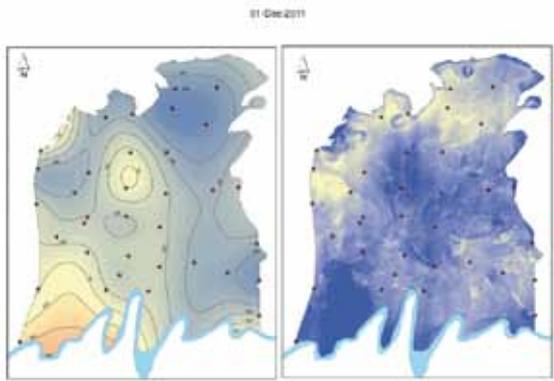


Abbildung 8
Grundwasserstände (01.12.2011)

Für die Bestimmung der Wasserbilanz und insbesondere der Grundwasserneubildung wird das physikalisch basierte, mit einem Grundwassermodell gekoppelte Wasserhaushaltsmodell MIKE-SHE von DHI (vgl. Abbildung 9, siehe auch www.dhisoftware.com/) verwendet. Es wurde bewusst eine kommerzielle Software eingesetzt, um nach Ende des Forschungsprojektes die Modellpflege und -weiterentwicklung bei den chinesischen Partnern zu gewährleisten. Für die Berechnung der Überschwemmungsgebiete des Tarim wird MIKE21 eingesetzt, ein 2-D hydrodynamisches Modell. Für die Wasserspiegellagen in den Bewässerungskanälen ist MIKE11 ausreichend, ein 1-dimensionales instationäres St.-Venant-Modell. Ziel dieser gekoppelten Modellierung ist es,

Mit dem kalibrierten Modell werden anschließend verschiedene Klima- und Landnutzungsszenarien berechnet, die von anderen Teilprojekten innerhalb SuMaRiO zur Verfügung gestellt werden. Das Entscheidungsunterstützungssystem erhält schließlich die wichtige Information, welche Grundwasser- und Versalzungskarten aus unterschiedlichen Bewirtschaftungsoptionen resultieren.

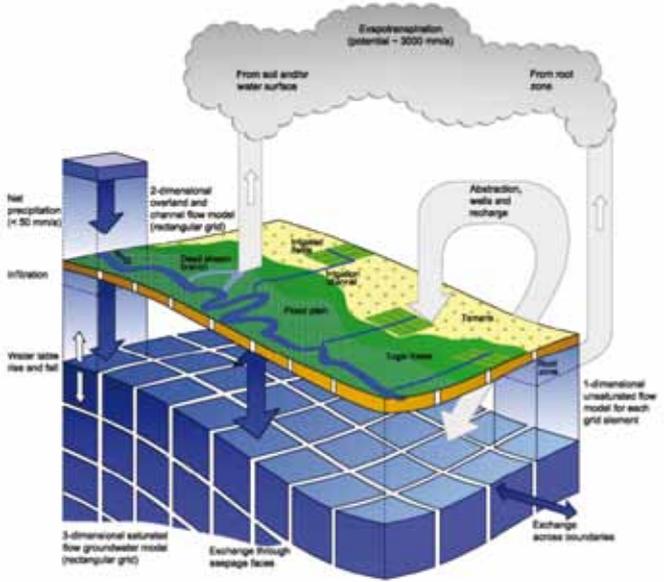


Abbildung 9
Aufbau des Wasserhaushaltsmodells MIKE SHE

Bestimmung der Überflutungsgebiete

Für das Ökosystem Auwald ist es lebenswichtig, dass das planzenverfügbare Grundwasser, das durch die hohen Evapotranspirationsraten in Anspruch genommen wird, in periodischen Abständen wieder aufgefüllt wird. Neben dem direkten leakage des Tarim in den angrenzenden Grundwasserleiter ist dafür die jährliche großflächige Überschwemmung der Auenvegetation entscheidend. Um diese räumlich differenzierte Grundwasserneubildung möglichst genau berechnen zu können, müssen neben den Boden- und Pflanzeigenschaften (Wurzeltiefe, Verdunstungsanspruch) zunächst die Überschwemmungsflächen bei verschiedenen Hochwassern bestimmt werden.

Als Grundlage diente hierzu das hoch aufgelöste Geländemodell (vgl. Abbildung 7). Eine geschickte Kombination von MIKE11 für die Bewässerungskanäle und vorhandenen Altarme (430 Querschnitte) mit MIKE21 für die flächenhafte Überschwemmung ergab ein realistisches Muster der räumlich-zeitlichen Überflutungen. Diese Flächen sind wiederum der Input für MIKE SHE.

Zur Verifizierung der berechneten Überflutungsflächen wurden Fernerkundungsdaten des Satelliten Terra-SAR-X verwendet. Die Überfliegszeitpunkte von Terra-SAR-X über das Untersuchungsgebiet Yengibazar kann Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1
Überfliegszeitpunkte des Terra-SAR-X Satelliten

24.11.2012	12.11.2012	01.11.2012	21.10.2012	18.09.2012
07.09.2012	25.07.2012	14.07.2012	04.07.2012	11.06.2012
07.03.2012				

Da der Satellit keine Wasserflächen detektieren kann, die sich direkt im Auwald befinden, wurden in einem mehrstufigen Verfahren die Überschwemmungsflächen berechnet. Die Terra-SAR-X Bilder werden zunächst in Wasserflächen / rauhe Oberflächen unterschieden. Im zweiten Schritt werden vegetationsfreie Uferpixel extrahiert und ihnen eine Höhe mittels des DGM zugewiesen. Schließlich können die Wasserflächen und -tiefen bestimmt werden, indem alle Geländepunkte, die tiefer

als die Uferpixel liegen und die hydraulischen Anschluss an die Terra-SAR-X Überschwemmungsflächen haben, als Wasserflächen definiert werden. Abbildung 10 zeigt, dass durch dieses Verfahren die aus der Fernerkundung ermittelten Überschwemmungsflächen wesentlich unterschätzt werden und daher auf das mehrstufige Verfahren zur Ermittlung realistischer Flächen nicht verzichtet werden kann.

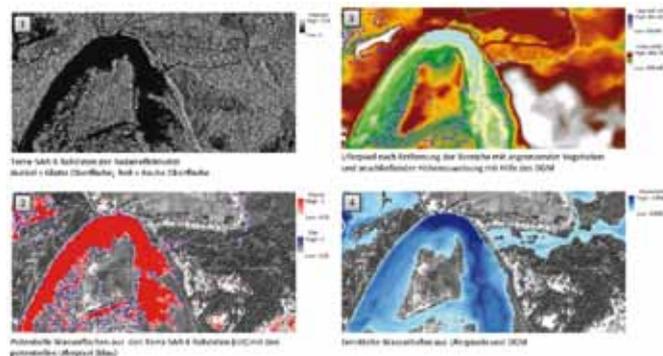


Abbildung 10
Ermittlung der Überflutungsflächen

Vorläufiges Fazit

Die Modellierungen mit MIKE SHE sind noch nicht abgeschlossen. Daher kann an dieser Stelle zunächst nur ein vorläufiges Fazit gezogen werden. Folgende Schlussfolgerungen sind gültig, müssen aber noch quantifiziert werden im Laufe des Forschungsvorhabens:

- Die Überschwemmungsgebiete haben den größten Einfluss auf den Grundwasserhaushalt.
- Um die Auwälder zu erhalten, müssen ausreichend hohe Überflutungen in den Überschwemmungsgebieten stattfinden.
 - kein Abschneiden von Überschwemmungsgebieten durch Eindeichung
 - Verringerung der oberstromigen Entnahme von Bewässerungswasser
- Durch eine gemischte Landnutzung können „Win-Win“-Situationen für die Landwirtschaft und die natürliche Vegetation entstehen.

Literaturverzeichnis

– BOLCH, T. (2006). GIS- und fernerkundungsgestützte Analyse und Visualisierung von Klimaänderung und Gletscherschwund im nördlichen Tien Shan mit einem Vergleich zur Bernina-Gruppe/Alpen. Institut für Geographie, Erlangen, Universität Erlangen-Nürnberg. Doktorarbeit: 210 S. (www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2006/447/).

– CHEN, Y.; XU, C.; HAO, X.; LI, W.; CHEN, Y.; ZHU, C.; YE, Z. (2009): Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China, in: Quaternary International Volume 208, S. 53-61.

– DISSE, M., KEILHOLZ, P. UND CYFFKA, B. (2010): Nachhaltiges Management von Flussoasen entlang des Tarim-Flusses in Nordwest-China;

in: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 29.10, S. 211 – 220, ISBN: 978-3-941897-49-6

– FAN, Z.; XIA, X.; SHEN, Y.; ALISHIR, K.; WANG, R.; LI, S.; MA, Y. (2002): Utilization of water resources, ecological balance and land desertification in the Tarim Basin, Xinjiang, in: Science in China, Vol. 45

– GIESE, E.; MAMATKANOV, D. M.; WANG, R. (2005): Wasserressourcen und deren Nutzung im Flussbecken des Tarims (Autonome Region Xinjiang / VR China), Giessen 2005, S. 22.

– HALIK, Ü.; KÜCHLER, J.; KLEINSCHMIT, B. (2005): Bevor die Erde zur Wüste wird, in: TU international Vol. 57, Berlin, S. 34-37.

Plädoyer für eine nachhaltige Bau-Ingenieurausbildung



Prof. Dr.-Ing. Norbert Gebbeken

Der Autor beschäftigt sich seit 1973 mit Hochschul- und Bildungspolitik. Seit 1983 ist er in besonderer Weise in die Begabtenförderung eingebunden. Nach seinem Ruf an die Universität der Bundeswehr München führte er die Begabtenförderung mit Genehmigung durch den damaligen Verteidigungsminister Rudolf Scharping an der Universität der Bundeswehr München ein. Als Folge davon wurde die Möglichkeit des Auslandsstudiums für studierende Offiziere genehmigt, wiederum durch Ministerentscheidung. Seit 1999 verfasste der Autor ca. 20 Artikel zur Hochschulreform und zur Ingenieurausbildung im Zusammenhang mit der Bologna-Reform. Er ist in wissenschaftlichen und in Berufsverbänden (z.B. Bayerische Ingenieurekammer Bau, Verband der bayerischen Wirtschaft) zuständig für Bildung und Innovation. Professor Gebbeken leitet das Institut für Baustatik und hatte zwei Rufe an andere Universitäten. Er ist Mitinhaber des Ingenieurbüros AJG Ingenieure GmbH München, das weltweit tätig ist, insbesondere beim Planen, Bauen und Überwachen kritischer Infrastrukturen. Sein Büro gründete im Jahr 2013 das Tochterunternehmen „Institute of Building Safety“, mit einer Anschubfinanzierung durch das BMVBS.

E-Mail: norbert.gebbeken@unibw.de

Zusammenfassung

Der Artikel beschreibt gegenwärtige Entwicklungen im Bauingenieurwesen als Folge der Bologna-Reform. Mit der „Atomisierung“ der Bauingenieurstudiengänge, von 3 im Jahre 2000 auf 43 heute, laufen die Universitäten Gefahr, die Nachhaltigkeit der Ingenieurausbildung nachhaltig aufs Spiel zu setzen. Der Beitrag ist ein Plädoyer für eine nachhaltige Bau-Ingenieur-(Aus) Bildung.

Einleitung

Als Sohn eines Landwirtes aus dem Emsland wurde mir die Nachhaltigkeit geradezu in die Wiege gelegt. Ernten kann man immer nur so viel wie nachwächst! Und darüber hinaus muss man die Ressourcen in der Landwirtschaft kennen, um optimal anbauen und ernten zu können. Warum wurde im Emsland nur Buchweizen angebaut, während woanders zumindest Hafer reifte? Wieso gibt es im Emsland so viele Weiden, während zum

Beispiel in der Hildesheimer Börde Zuckerrüben dominant angebaut werden? Die Antwort lautet: Nur das kann angebaut und geerntet werden, was der Boden inklusive der Standortfaktoren hergibt. Die Saat muss aufgehen können. Und das kann sie nur, wenn die Randbedingungen stimmen. Boden und Klima müssen optimal sein. Die Bodenwertzahlen liegen zwischen 0 (Sand) und 100 (Löß). Bei Bodenwertzahlen unter 20 lohnt sich Landwirtschaft nicht, doch bei guten bis sehr guten Werten (71-100) kann es auch Probleme geben, wenn dem Boden zum Beispiel zu viele Nährstoffe entzogen oder Monokulturen angebaut werden, die dem Ökosystem schaden. Das ist dann keine nachhaltige Landwirtschaft.

Die Analogie zur Bildung könnte in etwa so sein: Bodenwertzahlen entsprechen dem IQ ($55 < IQ < 145$, Mittelwert 100 normalverteilt). Standortfaktoren sind zum Beispiel: artgerechte Haltung = Betreuungsverhältnis, Klima = Studienbedingungen, Monokulturen = frühe Spezialisierung, u.s.w. Misswirtschaft vollzieht sich derzeit nicht nur in der Landwirtschaft

(z.B.: Massentierhaltung, Fleischskandale, Monokulturen), sondern auch in der Hochschul(aus)bildung. In einigen Regionen besuchen bereits 60 Prozent eines Jahrgangs Hochschulen, d.h. die Hochschulen müssen ihre Saat in einen Boden ausbringen, der nicht hinreichende „Bodenwertzahlen“ hat. Wir reden hier von Studierenden mit einem IQ unter 100. Bildungsforscher haben festgestellt, dass für ein klassisches auf den Wissenschaften basierendes Studium ein IQ von größer als etwa 117 erforderlich ist. In diese Gruppe fällt etwa 20 Prozent eines Jahrgangs. Ergebnis des hohen Studierendenanteils pro Jahrgang kann nur schlechte Ernte sein (Die gute Saat muss aufgehen können) und gleichzeitig Überforderung mit entsprechenden Folgen und Spätfolgen, Stichwort „zunehmender burn out bei Studierenden“ (Bericht des Studentenwerkes 2013, und „Nahezu die Hälfte aller Ingenieur-Studenten an Unis ist überfordert und bricht ab“ Süddeutsche Zeitung Nr. 185, 12.08.2013, S.13). Oder wir senken die Anforderungen. Aber die Forderung nach der Sicherheit der Tragwerke ist nicht verhandelbar, so auch nicht die Qualität der Ingenieurausbildung. Nun könnte man über gute Standortbedingungen die Bodenzahl positiv beeinflussen und eine verbesserte Ackerzahl erreichen, doch genau das passiert auch nicht, denn die Hochschulen setzen vermehrt auf Monokulturen, d.h. enge Spezialisierungen für die Studierenden, Stichwort „Alleinstellungsmerkmal“ und verschlechtern das Betreuungsverhältnis, sprich: verschlechtern die artgerechte Haltung von Studierenden. Dadurch wird das (Öko-)System Bildung immer empfindlicher und instabiler und ein kleiner „Verschnupfer“ aus der Wirtschaft (Abnehmer, Verbraucher) lässt die Ernte nutzlos werden. Man hat halt am Markt, der sich vergleichsweise schnell ändert, vorbei produziert. So ist die nüchterne Analyse des Statistikers. Aber das christliche Menschenbild geht davon aus, dass der Mensch Person ist. Sie muss im Mittelpunkt unseres Tuns stehen. Aber die Ökonomisierung, man könnte auch sagen Kapitalisierung, der Bildung, wie sie mit Bologna eingeführt wurde, führt jetzt zur Einführung von Gesetzen des Marktes, die auf eine nachhaltige Bildung so nicht angewendet werden dürfen. Die Hochschulen verkommen zu „berufsqualifizierenden Fertigungsstraßen“ (R. Zimmermann, Studienstiftung, Jahresbericht 2013, S. 4). In Zahlen: Gab es vor „Bologna“ die Ausbildung von Generalisten in 3 Vertiefungsrichtungen des Bauwesens, so gibt es inzwischen 43 hoch spezialisierte Bachelor- und Masterstudiengänge, angefangen von „Air Quality Control“ bis „Zukunftssicheres Bauen“. Zu Beginn der Bologna-Reform forderte die Wirtschaft praxisnahe Markt gerechte Studiengänge, jetzt, 10 Jahre später, sind die ersten Absolventen auf dem Markt, die Wirtschaft macht die ersten Erfahrungen mit ihnen, und – fordert von den Hochschulen die Ausbildung von Generalisten, während an den Hochschulen lustig weiter spezialisiert wird – selbst unter Ingenieuren wird *reactio* mit *actio* verwechselt. Ich werde es wohl noch in meiner Amtszeit erleben, dass es den Bachelor für den Balken auf zwei Stützen mit beidseitig gelenkiger Lagerung und Gleichlast gibt, aber, man höre und staune, mit variabler Spannweite. Das, was derzeit an den Hochschulen passiert, das ist nicht nachhaltig, es

ist verantwortungslos, und es ist eine Versündigung an den jungen Menschen, die glauben, ja glauben müssen, dass das, was von den Hochschulen angeboten wird, gut und zukunftsweisend ist.

„Die Meynung, daß bei dem akademisch wissenschaftlichen Unterricht alles auf Praxis ankomme, daß die Praxis billig allenthalben vor der Theorie hergehen, oder wenigstens damit verbunden seyn sollte, ist so wenig meine Meinung, daß ich vielmehr glaube, man könne das Praktische des Unterrichts sehr leicht zu weit treiben ... Wenn man junge Leute veranlaßt, zu früh, das heißt, bevor sie Kenntnisse genug erlangt haben, sich mit praktischen Arbeiten zu beschäftigen, so raubt man ihnen dadurch viel kostbare Zeit ...“ (Christoph Meiners: Über die Verfassung und Verwaltung deutscher Universitäten, 1801-1802, aus F & L 7/13, S. 527)

Ich sprach unlängst mit einem Zimmerermeister. Er errichtete ein Dach ohne Dachüberstand in unserer Nachbarschaft. Wir waren uns beide einig, dass das Blödsinn ist. Der Meister sagte in schönstem niederbayrisch, das ich leider in Mundart nicht wiedergeben kann: Ein Dach mit Dachüberstand hat schon immer funktioniert. Das wissen wir. Das ist aber rückwärtsgewandt. Wird nur noch von den ewig Gestrigen gebaut. Jetzt machen wir etwas Neues, ein Dach ohne Dachüberstand. Wir zwei kennen die Probleme, die auf den Hausbesitzer zukommen, aber der kann behaupten, dass er ein Architektenhaus mit innovativem Dach hat, eben modern, zeitgemäß, contemporary architecture, nicht rückwärtsgewandt. Und was würde der Architekt (Bolognapolitiker) auf unsere Kritik hin antworten? Sie verstehen meine Architektursprache eben nicht. Totschlagsargument. Diskussion beendet. Genauso ging es mir mit den Antwortbriefen von Bildungspolitikern, denen ich meine Kritik zur Hochschulreform mitteilte. Sie schrieben sinngemäß: Sie werden sehen, wir haben die richtigen Entscheidungen getroffen. Warten Sie einfach noch einige Zeit, bis die Reformen greifen.

Die deutsche Ingenieurausbildung war seit 200 Jahren, also seit es Technische Hochschulen gibt, weltweit führend. Sie wird seit zehn Jahren ohne Not zerschlagen und dem „mainstream“ angepasst. Markt gerecht aufgestellt. Dabei wird nicht beachtet, dass der Bildungszyklus mindestens 10 Jahre dauert, Einrichten des Studiengangs, Ausbilden der Studierenden, erste Erfahrungen mit ihnen. Deshalb muss vor dem Einrichten neuer Studiengänge sehr genau geprüft werden, ob sie nachhaltig aufgestellt sind. Darüber hinaus muss unterschieden werden in Fähigkeiten und Fertigkeiten. Erstere müssen unbedingt an der Hochschule erworben werden, letztere nicht notwendigerweise. Fertigkeiten können immer noch im Laufe des Berufslebens erlernt werden. Viele Curricula der neuen sehr spezialisierten Studiengänge verdeutlichen, dass sie eher dem berufsbegleitenden Lernen zugeordnet werden können, denn einem grundständigen Studium. Aus meiner Sicht droht den Hochschulen eine dramatische Entwissenschaftlichung und Scheinakademisierung.

Es gibt die Technikfolgenabschätzung, jedoch keine Politikfolgenabschätzung. Letztere wird dringend benötigt.

Im Folgenden möchte ich zunächst einen historischen Rückblick wagen und dann Thesen für eine nachhaltige Bau-Ingenieurausbildung ableiten und formulieren.

Geschichte des (Bau-)Ingenieurwesens

Man wird am besten zu einer Erkenntnis gelangen, wenn man die Dinge vom Ursprung her in ihrem Werden und Wachsen betrachtet (Aristoteles 384-322 v.Chr.), nach [Hans Straub: Geschichte der Bauingenieurkunst, 1975, S. 7].

Ingenieurwissenschaft ist angewandte Naturwissenschaft. Und Naturwissenschaft entstand zunächst aus Naturbeobachtung. Sie wird betrieben, seit es Menschen gibt. Unsere Wurzeln des Ingenieurwesens finden wir, wenn wir zurück blicken. Starten wir etwa vor 800 Jahren. Der Dominikanerpater Albertus Magnus (1200-1280) wird als der erste Naturwissenschaftler bezeichnet. Er war der erste, der die mitteleuropäische Flora und Fauna erkundete. Dazu kommen geografische und geologische

Beschreibungen. Sein Schüler Thomas von Aquin (1225-1274) systematisierte die Beschreibungen seines Mentors und Lehrers und gab ihnen somit eine wissenschaftliche Grundlage. Als Universalgelehrte sahen sie es als notwendig an, sich mit Theologie, Naturwissenschaft, Philosophie und Medizin zu beschäftigen. Diese 4 Gebiete bildeten zu der damaligen Zeit die Grundlage einer generalistischen Bildung.

300 Jahre später machte Raffael (1483-1520) in seinem Fresco „Die Schule von Athen“ die antike Bildung zu seinem Thema und stellt u. a. Pythagoras (570-510 v.Chr., Mathematiker), Sokrates (463-399 v.Chr., Philosoph), Aristoteles (384-322 v.Chr., Naturphilosoph), Euklid (ca. 300 v.Chr., Mathematiker), Archimedes (285-212 v.Chr., Mathematiker) und Ptolemäus (100-180 n.Chr., Astronom und Geograph) in den Mittelpunkt. Hier spielen die Fachgebiete Theologie, Naturphilosophie und Mathematik eine zentrale Rolle.

Raffael lebte in der Renaissance (15. und 16. Jahrhundert), in der Zeit, in der die Wissenschaften zu blühen begannen. Zu dieser Zeit waren fast alle Naturwissenschaftler auch mindestens Naturphilosophen, also Generalisten im besten und weitesten Sinne.



Quelle: Wikipedia

Abbildung 1
Raffael, Die Schule von Athen

Einer der ersten Universalingenieure, der Theorie und Praxis miteinander verband, war Leonardo da Vinci (1452-1519). Er behandelt im Codex Madrid Gebiete der Mechanik, Mathematik, Architektur, des Militäringenieurwesens, der Waffentechnik u.s.w. Die beiden Bände des Codex Madrid waren seit dem Tod Leonardos bis 1967 verschollen, so dass das dort niedergeschriebene Wissen nicht zur Verfügung stand. Unter anderem beschreibt Leonardo die Biegung von Balken und in dem Zusammenhang eindeutig die Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte, die wir heute als Bernoulli-Hypothese kennen. Andere Forscher, Galileo Galilei (1564-1642), Christiaan Huygens (1629-1695), Robert Hooke (1635-1703), Edme Mariotte (1620-1684), Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) u.a. kamen aus der Beobachtung und mechanischen Annahmen zu nicht korrekten mechanischen Beschreibungen. Erst Jakob I Bernoulli (1655-1705) fand die richtige mechanische und mathematische Beschreibung der Balkenbiegung und bestätigte fast 200 Jahre nach Leonardo dessen Beschreibung. Die Bernoulli-Stabtheorie müsste also eigentlich Leonardo-Bernoulli-Stabtheorie heißen, und sie ist heute so aktuell wie vor 500 Jahren. Man kann sagen, sie ist nachhaltig.

„Meine Absicht ist es, erst die Erfahrung anzuführen und sodann mit Vernunft zu beweisen, warum diese Erfahrung auf solche Weise wirken muss. Eitel und voller Irrtümer ist alle Wissenschaft, ... die nicht geprüft wird durch Erfahrung und Kreativität.“ Leonardo da Vinci

Gerade werde ich von meinem Bildungspolitiker ermahnt, meine Vorlesungen zu entrümpeln und alles rauszuwerfen was älter als 30 Jahre ist (z.B.: Westdeutsche Zeitung, 01. März 2010: Pinkwart macht Druck: Unis entrümpeln Studiengänge). Ich aber bin glücklich, die physikalischen Gesetze lehren zu können, die sich zum Glück immer wieder bestätigen. Nachhaltigkeit liegt auch in dem begründet, was Bestand hat. Und es reift die Erkenntnis, dass Physik gleichermaßen konservativ und progressiv ist, und, das ist wichtig zu wissen, nicht demokratisch. Trotzdem lasse ich in Vorlesungen manchmal über Ergebnisse abstimmen. Und manchmal unterliegt die Mehrheit, weil die Wahrheit obsiegt. Hierbei geht es mir zunächst einmal gar nicht um Zahlen, sondern um das Verstehen der Grundlagen. Denn was ist Wissen? Was in Tabellenwerken und in Wikipedia steht? Nein! Was schafft denn Wissen? Neues aus dem Verständnis heraus zu generieren. Verstehen und Erkenntnis schafft Wissen, nicht nur in der Wissenschaft. Forschung von heute ist Praxis von morgen. Deshalb müssen wir am Humboldt'schen Prinzip festhalten, der Einheit von Lehre und Forschung.

Dem „philosophischen Kopf“ geht es nicht in erster Linie um Wissen, sondern um Verständnis; und Ausbildung ist für ihn Teil eines Bildungsweges, Bildung ist nicht an einem Nutzen orientiert, sondern ein Wert an sich. (Peter Bieri, zitiert nach R. Zimmermann a.a.O.)

Leonardo hat uns vorgemacht, aus der Naturbeobachtung heraus, die Wirklichkeit möglichst gut modellhaft zu beschreiben; die Wirklichkeit verstehen und dann Modelle entwickeln. Diese Modelle waren zunächst eher von qualitativem Charakter, auch noch bei Leonardo. Erst durch die mathematische Modellierung mechanischer Modelle wurden Berechnungen und damit auch quantitative Aussagen möglich.

Hier hat Isaac Newton (1642-1726) für uns Ingenieure Wesentliches geleistet. Er war ein englischer Naturforscher, Mathematiker und Philosoph. Newton beschrieb die Gravitation und formulierte die Bewegungsgesetze (Kraft = Masse x Beschleunigung), die auch heute noch zu den Grundlagen der Mechanik zählen. Sein Hauptwerk „Principia Mathematica“ zählt immer noch zu den wichtigsten mathematischen Schriften, die zitiert werden. Diese Grundlagen zu kennen und zu verstehen, das ist nachhaltig.

Ein weiterer wichtiger Vertreter der Grundlagenwissenschaften ist Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Er gilt als Begründer von Infinitesimal- und Variationsrechnung. Damit hat er, ohne es auch nur ahnen zu können, die Basis gelegt für die heutigen numerischen Simulationsmethoden, die es erst seit der Entwicklung von Computern (Bauingenieur Konrad Zuse (1910-1995)) gibt und die seitdem ständig weiter entwickelt werden. Viele der von Leibniz erarbeiteten Methoden entstanden aus zweckfreier Forschung. Allein getrieben von dem Streben nach Erkenntnis und Wahrheit. Ist das heute noch möglich? Nachhaltig wäre es.

Lediglich Erfahrung und qualitative Modelle führten bereits zum Bau spektakulärer Bauwerke: Cheops Pyramide (ca. 2600 v.Chr.), Parthenon Tempel (ca. 500 v.Chr.), Pantheon (ca. 100 n.Chr.) Dom von Florenz (um 1430 n.Chr.), Petersdom (1506 bis 1626). Bei den meisten Gebäuden sind Rückschläge, Verletzte und Tote während des Baus nicht dokumentiert. Viele Gebäude wurden während des Baus wieder abgerissen, weil sich bereits Schäden zeigten. Erst 1743 entstand die erste Statik der Welt im Auftrag von Papst Benedikt XIV, der die Schäden an der Kuppel des Petersdomes systematisch untersuchen ließ (Wapenhans W. & Richter J., Dresden 2001, www.wundr.com/pdf/05_06_04.pdf). Er beauftragte die drei Mathematikprofessoren Ruggiero Giuseppe Boscovich (1711-1787), Tommaso Le Seur (1703-1770), Francesco Jacquier (1711-1788) mit einem Gutachten, dem sie den Titel gaben: „Die Ansicht von drei Mathematikern zu den Schäden, die an der Kuppel des Petersdoms Ende Anno MDCCXLII festgestellt wurden. Erarbeitet im Auftrag unseres Herrn Papst Benedikt XIV“. Dieses Gutachten wird von Wapenhans & Richter als erste Statik der Welt bezeichnet. Die drei Mathematiker konnten das Gutachten fachlich erstellen, weil sie noch zum Kreis der Universalgelehrten zählten. Sie waren eben keine Spezialisten. Angewandte Mathematik ist äußerst praxisnah.

Die Erkenntnis, dass Fachwissen systematisch aufgeschrieben und gelehrt werden sollte, führte zur Gründung von polytechnischen Hochschulen. Die École Nationale des Ponts et Chaussées wurde in Frankreich 1747 als weltweit erste Ingenieurschule gegründet, vier Jahre, nachdem erstmals Bauschäden systematisch untersucht wurden. Die Studenten sollten auch zu Persönlichkeiten heran gebildet werden, wozu eine Allgemeinbildung diente. Es ist interessant, dass gerade an Militärhochschulen auch heute noch ein Studium Generale verpflichtend ist, allerdings als Zusatzleistung. Es sind also bis zum Master 300 ECTS + 30-60 ECTS zu erbringen. Diese 1747 eingeführte Bildungsphilosophie wird als nachhaltig angesehen und prägt auch heute noch die Grands Ecoles.

„In diesem Sinne beginnt für Thomas Mann Bildung „erst mit der Erkenntnis, der Eroberung und Durchdringung des ganz anderen, der fremden Sprache, Kultur und Geistesform und dem Heimischwerden in ihr.“ (R. Zimmermann a.a.O).

Schon der König Hammurapi (1792-1750 v.Chr.) schuf eine Rechtsordnung, in der er u.a. schrieb: Wenn ein Baumeister ein Haus baut und macht seine Konstruktion nicht stark, so dass es einstürzt und verursacht den Tod des Bauherrn, dieser Baumeister soll getötet werden. Wird beim Einsturz Eigentum zerstört, so stelle der Baumeister wieder her, was immer zerstört wurde; weil er das Haus nicht fest genug baute, baue er es auf eigene Kosten wieder auf.

In der heutigen Gesetzgebung liest es sich folgendermaßen: STGB § 319- Baugefährdung: (1) Wer bei der Planung, Leitung oder Ausführung eines Baues oder des Abbruchs eines Bauwerks gegen die allgemein anerkannten Regeln der Technik verstößt und dadurch Leib oder Leben eines anderen Menschen gefährdet, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft. (2) Ebenso wird bestraft, wer in Ausübung eines Berufs oder Gewerbes bei der Planung, Leitung oder Ausführung eines Vorhabens, technische Einrichtungen in ein Bauwerk einzubauen oder eingebaute Einrichtungen dieser Art zu ändern, gegen die allgemein anerkannten Regeln der Technik (Normen, A.d.V.) verstößt und dadurch Leib oder Leben eines anderen Menschen gefährdet. (3) Wer die Gefahr fahrlässig verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft. (4) Wer in den Fällen der Absätze 1 und 2 fahrlässig handelt und die Gefahr fahrlässig verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu zwei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

In welchem anderen Beruf gibt es eine vergleichbare Verantwortung? Wenn also Ingenieure Gefahr laufen, mit einem Bein im Gefängnis zu stehen, dann dürfen wir an der Qualität und Nachhaltigkeit der Ausbildung keinerlei Abstriche machen. Ein Qualitätsverlust wäre fahrlässig und würde die Sicherheit der Tragwerke und baulichen Anlagen gefährden. Wir benötigen also Studierende, die fähig und bereit sind, die naturwissenschaftlich technischen Grundlagen zu begreifen.

Verhindert die Gesetzgebung gemäß StGB § 319, mit der Verpflichtung auf die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik, Innovation? Wie verhalten sich ängstliche Ingenieure? Derjenige, der sich strikt an Normen klammert, der lebt sicher, er geht kein Risiko ein. Deutschland lebt aber von technischen Innovationen, vom richtigen Umgang mit Innovationsrisiko. Innovationen werden meistens von denen erbracht, die die Grundlagen verstanden haben, und die deshalb eine Risikoabschätzung vornehmen können. Das sind diejenigen Ingenieure, die eine nachhaltige grundlagenorientierte Ausbildung genossen haben. Wir kennen in Deutschland die Zustimmung im Einzelfall. Sie ist eine sehr gute Möglichkeit des schnellen Technologietransfers. Dabei empfehle ich immer mindestens ein 6-Augen-Prinzip, das zwingend die Verifikation und die Validierung einschließt. Erfahrung und Plausibilität sind gut, sie wissenschaftlich zu bestätigen schützt vor einer Strafverfolgung nach StGB § 319, denn dann hat man eben nicht fahrlässig gehandelt. Das StGB verweist nun auf die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik, also auf die Einhaltung der Normen. Doch seit wann gibt es die? Und was taten Ingenieure vorher?

*„Ich kann euch nicht sagen wie ich es machen werde, aber ich kann euch sagen, dass ich es machen werde.“
George Stephenson (1781-1848 Chesterfield)
Eisenbahningenieur*

Erst der Einsturz der Brücke von Münchenstein (Schweiz) im Jahr 1891 führte dazu, dass wegen immer wiederkehrender Fehler, die Forderung nach Standards erhoben wurde. Die beiden Schweizer Professoren Karl Wilhelm Ritter (1847-1906) und Ludwig von Tetmajer (1850-1905) wurden mit der Untersuchung des Brückeneinsturzes beauftragt. Beide gelten auch heute noch als die Väter der Baustatik. Sie kamen in ihrer Untersuchung u.a. zu folgendem Ergebnis: 1) Aus Kostengründen wurde unzureichend konstruiert. 2) Das verwendete Eisen hatte nicht die notwendige Festigkeit und Zähigkeit. 3) Die Stabilität wurde nicht beachtet! Letztere war in den wesentlichen Grundlagen bereits von Leonhard Euler (1707-1783) nachhaltig dargelegt und niemals falsifiziert. Als Konsequenz aus dem Gutachten wurde im Jahre 1892 die erste Schweizer Brückenbaunorm eingeführt. Sie ist überhaupt die erste Norm. Weiterhin wurden sämtliche Eisenbahnbrücken der Schweiz überprüft und etliche mussten verstärkt werden. Dieses Vorgehen kann als Grundlage der heutigen DIN 1076 (Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Brücken – Überwachung und Prüfung) gesehen werden. Hätte man aus diesen Erfahrungen nachhaltig gelernt, so wäre das Unglück von Bad Reichenhall (Einsturz der Eislaufhalle am 02.01.2006 mit 15 Toten) wahrscheinlich zu verhindern gewesen. Und es wiederholt sich die Geschichte. Alle Tragwerke ab einer bestimmten Größe und Nutzung wurden 2006 überprüft, und es entstand in den Jahren 2006 bis 2008 die VDI-Richtlinie 6200 (Standicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung). Offensichtlich werden Erfahrungen nicht nachhaltig wahrgenommen und weiter gegeben. Allerdings trifft es nicht

nur die Ingenieure, sondern insbesondere die Bauherrschaft, die Verfügungsberechtigten und die Politik. Psychologen und Spezialisten der Krisenintervention weisen darauf hin, dass Menschen sich selbst schützen, indem sie Katastrophen schnell verdrängen. Doch hiervor muss man sich in der Technik und in der Wissenschaft schützen. Die nachhaltige Weitergabe von Erfahrung ist auch heute noch nicht vollständig umgesetzt.

Gegenwart

Ständig kommt Wissen hinzu, und wir müssen uns an den Hochschulen fragen, was wir in den 180 ECTS bis zum Bachelor und den weiteren 120 ECTS bis zum Master vermitteln müssen. Das Verstehen elementarer Zusammenhänge und das Erlernen wesentlicher Methoden sind aus meiner Sicht zwingend von den Hochschulen zu erbringen. Es gibt aber auch Inhalte, die sich schnell ändern oder die vergleichsweise leicht erlernbar sind, Stichwort: training on the job. Die Hochschulgesetze fordern von den Hochschulen eine (Aus-)Bildung, die zum Beruf befähigt. Die Berufsfertigkeiten sollen im Beruf erlernt werden. Das entspricht einer bedarfsgerechten Spezialisierung. Als ich 1992 als Post-Doc in die USA ging, da wurde ich mit Aussagen konfrontiert, die mir neu waren, mich aber nachdenklich stimmten. Eine Aussage war: I don't teach undergraduates. Im Klartext: Ich beschäftige mich nur mit den Besten. Eine andere: We don't teach Codes. Im Klartext: Anwendungswissen gehört nicht an die Uni. In Hannover hatte ich eine Vorlesung, die daraus bestand, dass der Professor als Vorsitzender eines Normenausschusses wahrhaftig seine Norm vorlas, Wort für Wort. Nur hin und wieder gab er eine Erläuterung. Einen Blick ins Auditorium tat er nie. In einem anderen Fach wurden in den Klausuren Werte abgefragt, Werte, die in Handbüchern und Normen zu finden sind. Stures auswendig lernen. Besser wäre es gewesen, uns die physikalischen Grundlagen beizubringen und die Phänomene, um damit das Verstehen zu fördern. Verstanden habe ich dieses Fach dann später als ich Höhere Technische Mechanik bei Professor Erwin Stein hörte. Daraus gewann ich die Erkenntnis, dass die gut vermittelte und verstandene Theorie die absolute Basis für eine gute Praxis ist. Und Professor Stein zitierte immer wieder Gottfried Wilhelm Leibniz: Theoria cum praxi – Die Verknüpfung von Theorie und Praxis zu beiderseitigem Nutzen.

Nach nun mittlerweile 40-jähriger Tätigkeit als Ingenieur in Wissenschaft, Praxis und Verbänden weiß ich, dass ich das Bauwesen im Wesentlichen verstanden hatte, als ich die Grundlagen im Studium verstanden hatte. Alles andere habe ich mir angeeignet, als ich es benötigte.

Das Motto der Stanford University ist *Die Luft der Freiheit weht, und es erinnert an das Luther-Bibelwort Der Wind bläset, wo er will, und du hörest sein Sausen wohl; aber du weißt nicht, von wannen er kommt und wohin er fährt. Also ist ein jeglicher, der aus dem Geist geboren ist. Was ist damit gemeint? Wissenschaft an sich soll frei sein, offen für alle Winde, aus dem Geist*

geboren, zunächst nur der Erkenntnis verpflichtet, zum Wohle der Menschen, also auch zum praktischen Nutzen. Gerade die Ingenieurwissenschaft ist eine angewandte Wissenschaft, doch sollten wir hinreichend viel Zeit aufbringen für die zunächst zweckfreie Grundlagenforschung. Ohne sie gäbe es nicht den Zufall in der Wissenschaft: Heureka-Erlebnis von Archimedes in der Badewanne, Bier als Ergebnis von in Wasser gefallene Brotkrümel, Gravitation als Ergebnis von fallenden Äpfeln auf Newtons Kopf, Klettverschluss als Ergebnis von penetrant haftenden Kletten, Tesafilm, Penicillin, Mikrowellenherde, Radioaktivität, Amerika, Röntgenstrahlen und vieles mehr (Martin Schneider: Teflon, Post-it und Viagra, Wiley 2002). Heute muss bei vielen nationalen und internationalen Forschungsausschreibungen bereits in der Antragsphase der wirtschaftliche Nutzen der Forschungsergebnisse dargestellt werden. Und darüber entbrennt ein heftiger Wissenschaftsstreit zwischen Max-Planck-Gesellschaft und Fraunhofer-Gesellschaft. Ungerührt dessen gründete der Physiker und SAP-Gründer Klaus Tschira 1995 mit einem Stiftungsvermögen von ca. 2 Milliarden Euro (Buchwert 2012, Bundesverband Deutscher Stiftungen) einen zweckfrei forschenden Think-Tank, nach dem Motto: forscht was ihr wollt – think beyond the limits, und holt die Besten der Besten in die Villa Bosch. Und das Ergebnis: Es „rechnet sich“! (www.klaus-tschira-stiftung.de/)

Weil im Ingenieurwesen ein Fach auf dem anderen aufbaut und fast alle Fachgebiete miteinander verknüpft sind, ist die Modulphilosophie bedenklich und „Bulimie lernen“ geht gar nicht. Deswegen hat die alte Form der Diplomhauptprüfung Sinn gemacht. Am Ende des Studiums wurde das gesamte im Studium erlernte Wissen in seinen Zusammenhängen noch einmal abgefragt. Diese Form der Prüfung wurde zu meinem großen Bedauern abgeschafft. Heute möchten die meisten Studierenden mit dem abgeprüften Modul möglichst nichts mehr zu tun haben. Es geht aber ja nicht um das Modul, sondern um seine Inhalte. Das muss man immer wieder predigen und an Beispielen erläutern. Ich versuche das mit Hilfe von baupraktischen Beispielen, die wir gerade bearbeiten. Aber die Studierenden müssen auch lernen, dass zum Verstehen manchmal allergrößte Abstraktion sinnvoll ist. Deswegen habe ich früher immer in wichtigen Vorlesungen die Abschlussprüfung zweigeteilt; Rechentechnik und Methodenverständnis in der Klausur, übergeordnetes Verständnis in der mündlichen Prüfung. Das geht nicht mehr. Bildungspolitisch abgeschafft. Gründe dafür kenne ich nicht. Und was kann ich tun? Ich kann ein nicht benotetes Gespräch als Prüfungsvoraussetzung verlangen, in der idealistischen Hoffnung, dass sich wenigstens der eine oder andere Student etwas gewissenhaft darauf vorbereitet. Wenigstens meine Hiwis möchten sich eigentlich nicht blamieren.

Der Berufsstand der Bauingenieure und die am Bau tätigen Ingenieure und Naturwissenschaftler sind der Garant für die Sicherheit, Funktionsfähigkeit und Nachhaltigkeit unserer gebauten Umwelt. Diese beruht wesentlich auf den Grundgesetzen

der Physik. Wer diese nicht verstanden hat, aber trotzdem baut, der handelt fahrlässig (StGB § 319). Und deshalb sind die wissenschaftlichen Grundlagen des Bauingenieurwesens das Fundament unseres beruflichen Tuns und nicht verhandelbar. Sie bilden das breite Fundament des Ingenieurwesens, das die Basis für berufliche Flexibilität ist. Eine notwendige Spezialisierung sollte spät einsetzen, möglicherweise erst in der Praxis. Wer das wissenschaftliche Fundament verschmälert, der schränkt ein, wer das wissenschaftliche Fundament verbreitert, der schafft mehr Möglichkeiten, in der Bildung und beim Bauen.

Fazit

Ingenieurwissenschaften sind angewandte Naturwissenschaften ergänzt durch Technologie und Prozesse. Deshalb gründet sich eine nachhaltige Ingenieurausbildung auf breiten wissenschaftlichen Grundlagen. Es muss zunächst das erlernt werden, was keiner „Halbwertszeit“ unterliegt, nämlich das, was Bestand hat. Wer die Grundlagen verstanden hat, der qualifiziert sich für eine mindestens 40-jährige Berufstätigkeit mit wechselnden Anforderungen. Wer sich früh spezialisiert, der schränkt sich ein. Ist sein spezialisiertes Wissen am Markt nicht mehr gefragt, dann wird er „frei gesetzt“. Die Hochschulen sollten sich der Folgen der Atomisierung der Bau-Studiengänge bewusst sein. Sie haben eine Verantwortung für das Bauwesen und für die Studierenden, die immer mehr am Markt vorbei ausgebildet werden – „Der Mensch ist Person“. Ich plädiere nachdrücklich für eine nachhaltige Ingenieurausbildung auf der breiten naturwissenschaftlichen Grundlage. Wir müssen unabhängig von Partikularinteressen fragen, was einerseits die Hochschulen notwendigerweise unterrichten müssen, und was andererseits auch später im Berufsleben noch angeeignet werden kann. Für Beratende Ingenieure gibt es die Verpflichtung zur Fortbildung, die in Bayern durch die Ingenieurekammer auch überprüft wird. Viele verkammerte Ingenieure unterziehen sich freiwillig dieser Fortbildungsverpflichtung, die zeitlich im Jahr mindestens 3 Tage in Anspruch nimmt. Darüber hinaus haben die Hochschulen als vierte Hauptaufgabe die Weiterbildung ins Pflichtenheft geschrieben bekommen (z.B. BayHSchG, Art. 2 (1)). Über diese Instrumente können

aktuelle Themen schnell berufsbegleitend vermittelt werden. Die Hochschulen können insbesondere über die Wahlpflichtfächer im Vertiefungsstudium schnell auf neue Forschungen und auf Bedürfnisse aus der Praxis reagieren. In der Breite der Spezialisierung bedienen sich die Hochschulen besonders qualifizierter Lehrbeauftragter, die sowohl aus der Wissenschaft, als auch aus der Praxis kommen. Das ist eine tolle Bereicherung und Symbiose.

In einer Zeit, in der sich die Lebensarbeitszeit nach vorn hin verlängert und nach hinten, müssen wir uns auch Gedanken machen über eine stabile und nachhaltige Persönlichkeitsentwicklung. Hierzu schreibt R. Zimmermann (a.a.O) „...*, dass aber die Zeit zum Aufbau der intellektuellen, moralischen und emotionalen Ressourcen für eine sinnvolle Gestaltung der eigenen Biographie immer knapper wird. Wer hätte nicht schon erlebt, dass wesentlichen Anstöße für die eigene Arbeit aus Erfahrungen resultieren, aus der Befassung mit Themen oder der Lektüre von Büchern, die mit dieser Arbeit auf den ersten Blick nicht das Geringste zu tun haben? Und wer hätte nicht schon einmal erfahren, wie wichtig eine breite allgemeine Bildungsgrundlage gerade im Hinblick auf die später unvermeidliche berufliche Spezialisierung ist?*“

Ein Land, das als einzigen Rohstoff, den Rohstoff Geist hat, muss sich dazu bekennen, dass Bildung systemrelevant ist, systemrelevanter als Banken und bestimmte Unternehmen. Doch leider gehen die Milliarden in die Banken, u.a. weil Banker und andere Berufsgruppen offensichtlich keinem vergleichbaren STGB 319 unterliegen.

Die Nachhaltigkeit kehrt mehr und mehr in die Landwirtschaft zurück. Monokulturen werden angeprangert. Die artgerechte Haltung wird unabhängig von politischen Anschauungen bedingungslos eingefordert. Nur die artgerechte Haltung von Studierenden darf sich weiter verschlechtern. Renaturierung allerorten. Das Ökosystem muss wieder stabiler und weniger anfällig werden. Das Ökosystem Bildung kann von der Landwirtschaft lernen.

Schriftenreihe der Universität der Bundeswehr München Band 02
Kolloquienreihe Innovation und Nachhaltigkeit 2013
Neubiberg, Oktober 2013

Herausgeber

Universität der Bundeswehr München
Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg
www.unibw.de/bau

Redaktion

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz
Prof. Dr.-Ing. Karl-Christian Thienel

Gestaltung

Just Imagine
www.justimagine.de



*Kolloquienreihe
Innovation und Nachhaltigkeit 2013*

*Schriftenreihe
der Universität der Bundeswehr München
Band 02*

ISSN 1868-5935