

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Produktentwicklung

Biologische Publikationen als Ideengeber für das Lösen technischer Probleme in der Bionik

Maria Katharina Helms

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl
Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Prof. Dr.-Ing. Mirko Meboldt
ETH Zürich, Schweiz

Die Dissertation wurde am 16.03.2016 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 28.06.2016 angenommen.

DANKSAGUNG

Meinem Doktorvater Herrn Professor Lindemann danke ich für die Offenheit gegenüber mir als Biologin, die große Freiheit, die er mir bei der Wahl meines Dissertationsthemas und der Weiterentwicklung meiner Fähigkeiten gewährt hat und für seine Loyalität.

Herrn Professor Meboldt danke ich für die Übernahme der Rolle des Zweitprüfers und eine sehr produktive Diskussion meines Dissertationsthemas in Zürich. Herrn Professor Stahl danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Meinem Mentor Markus Petermann danke ich für die vielen klugen Kommentare zu meiner Arbeit und für sein Kommen am Prüfungstag (trotz Arbeitsverpflichtung und Garching).

Meinen Kollegen am Lehrstuhl für Produktentwicklung danke ich für die spannende, witzige und prägende gemeinsame (Arbeits)zeit. Besonderer Dank geht an Schöttchen und Maisi (für endlose „Disszerlegungssessions“ und für die Bürstenborstenbüschel), Trizzi (für die Gesundheitspolizei und ein Schaf), Corinna und Clemens (für „laft da was“ und die super Zeit in Zürich), Torsten (für die vielen Lacher und die Roboter), Daniel Kammerl (für „ein Golf“ und das Manschgerl), Alex und Nepo (für’s „bepaten“ und „bepaten lassen“), Manu, Basti Schenkl, Clemens und Max (für ihre Têtes-à-Têtes mit der Bionik), Harrys (für seine Gelassenheit), Wolfi, Katharina Kirner, Paco, Arne und Radek (für’s Beachvolleyball), Thomas (für den CAD-Support), Flo Behncke (für die Farben) und Markus Mörtl (für das Ertragen meiner Formulare).

Meinen Kolleginnen Helena und Cristina danke ich für tolle Freundschaften und unglaublich gute und tiefgründige Diskussionen zu meinem Dissertationsthema und anderen Themen. Danke an Helena für das „Gesellschafttleisten“ in der Bionik.

Großer Dank geht an meine *BIOscrabble*-Studenten, die mit Ihrer Arbeit wesentlich zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben und deren Betreuung mir viel Spaß gemacht hat.

Meiner Mama danke ich dafür, dass sie all die Umwege in meiner Ausbildung ermöglicht hat. Ohne ihre Unterstützung und Offenheit wäre dieser Abschluss nicht möglich gewesen.

Meinem Mann (und Kollegen) Bergen danke ich neben vielem anderen (harten Diskussionen, intelligentem Input) für seinen bedingungslosen Glauben an mich und meine Forschung. Er hat damit diese Arbeit über schwierige Zeiten gerettet und bekommt sie deshalb hiermit gewidmet.

VORVERÖFFENTLICHUNGEN (CHRONOLOGISCH)

- Kaiser¹, M. K., Hashemi Farzaneh, H., & Lindemann, U. (2012). An Approach to Support Searching for Biomimetic Solutions Based on System Characteristics and its Environmental Interactions. In D. Marjanovic, M. Storga, N. Pavkovic, & N. Bojcetic (Eds.), *Proceedings of DESIGN 2012* (pp. 969–978). Design Society.
- Kaiser, M. K., Hashemi Farzaneh, H., & Lindemann, U. (2013). BIOscrabble - Extraction of Biological Analogies out of Large Text Sources. In *Proceedings of IC3K 2013* (pp. 10–20). SCITEPRESS Digital Library.
- Kaiser, M. K., Hashemi Farzaneh, H., & Lindemann, U. (2014). BIOscrabble - The Role of Different Types of Search Terms when Searching for Biological Inspiration in Biological Research Articles. In D. Marjanovic, M. Storga, N. Pavkovic, & N. Bojcetic (Eds.), *Proceedings of the DESIGN 2014* (pp. 241–250). Design Society.
- Hashemi Farzaneh, H., Helms, M. K., & Lindemann, U. (2015). Visual Representations as a Bridge for Engineers and Biologists in Bio-Inspired Design Collaborations. In C. Weber, S. Husung, M. Cantamessa, G. Cascini, D. Marjanovic, & V. Srinivasan (Eds.), *Proceedings of ICED 15* (pp. 215–224). Design Society.
- Helms, M. K., Hashemi Farzaneh, H., & Lindemann, U. (im Druck (geplant 2016)). Creating Bio-inspired Solution Ideas Using Biological Research Articles. In G. E. Corazza & S. Agnoli (Eds.), *Creativity in the Twenty First Century: Vol. 2. Multidisciplinary Contributions to the Science of Creative Thinking* (pp. 215–232). Singapur: Springer.

¹ Kaiser ist der Geburtsname der Autorin Maria Katharina Helms.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| 1. Einführung | 1 |
| 1.1 Problemstellung und Motivation | 2 |
| 1.1.1 Problemstellung – Wissenschaftliche Perspektive | 2 |
| 1.1.2 Problemstellung – Praktische Perspektive | 3 |
| 1.1.3 Motivation | 4 |
| 1.2 Zielsetzung und erwarteter Beitrag | 4 |
| 1.3 Struktur der Arbeit | 6 |
| 2. Zentrale Forschungsfrage und Forschungsansatz | 9 |
| 2.1 Zentrale Forschungsfrage | 9 |
| 2.2 Forschungsansatz | 9 |
| 3. Bionik in der Produktentwicklung | 11 |
| 3.1 Problemlösung in der Produktentwicklung | 11 |
| 3.1.1 Begriffsklärung | 11 |
| 3.1.2 Vorgehensweisen bei der Problemlösung | 12 |
| 3.1.3 Analogienbasierte Problemlösung | 13 |
| 3.2 Kurzeinführung in die Biologie | 15 |
| 3.2.1 Begriffsklärung | 15 |
| 3.2.2 Biologische Systeme | 16 |
| 3.2.3 Biologische Forschung bzw. Problemlösung | 16 |
| 3.2.4 Quellen biologischer Forschungsergebnisse bzw. Information | 17 |
| 3.3 Kurzeinführung in die Bionik | 18 |
| 3.3.1 Begriffsklärung | 18 |
| 3.3.2 Beispiele, Potentiale und Herausforderungen | 19 |
| 3.4 Lösungssuche in der Bionik | 20 |
| 3.4.1 Bionische Datenbasen und Ansätze zu deren Nutzung | 20 |
| 3.4.2 Ansätze zur automatischen Erschließung bionisch relevanter Information | 23 |
| 3.4.3 Ansätze zur direkten Nutzung biologischer Informationsquellen | 25 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.4.4 | Zusammenfassung der vorgestellten Datenbasen und Ansätze | 27 |
| 4. | Teilforschungsfragen | 29 |
| 5. | Initialer Lösungsansatz – BIOscrabble | 31 |
| 5.1 | Entwicklung von BIOscrabble | 31 |
| 5.1.1 | Fallbeispiel Spinnseide | 32 |
| 5.1.2 | Entwicklung des BIOscrabble-Bausteins Suchwortarten | 33 |
| 5.1.3 | Entwicklung des BIOscrabble-Bausteins Suchwortvariationen | 37 |
| 5.1.4 | Entwicklung des BIOscrabble-Bausteins Biologische Publikationen | 39 |
| 5.2 | Illustration von BIOscrabble | 41 |
| 6. | Qualitative Anwendungsevaluation von BIOscrabble | 43 |
| 6.1 | Aufbau der Studie | 43 |
| 6.1.1 | Teilnehmer | 43 |
| 6.1.2 | Aufgabe und zeitlicher sowie örtlicher Rahmen | 44 |
| 6.1.3 | Rolle der Studienleiterin | 45 |
| 6.1.4 | Untersuchtes Material und Auswertung des Materials | 45 |
| 6.2 | Darstellung und Diskussion der Studienergebnisse | 47 |
| 6.2.1 | Allgemeine Ergebnisse | 47 |
| 6.2.2 | Ergebnisse für den BIOscrabble-Baustein Suchwortarten | 58 |
| 6.2.3 | Ergebnisse für den BIOscrabble-Baustein Suchwortvariationen | 69 |
| 6.2.4 | Ergebnisse für den BIOscrabble-Baustein Biologische Publikationen | 77 |
| 7. | Quantitative Erfolgsevaluation des BIOscrabble-Bausteins Suchwortarten | 93 |
| 7.1 | Aufbau des Experiments | 93 |
| 7.1.1 | Teilnehmer | 93 |
| 7.1.2 | Aufgabe und zeitlicher sowie örtlicher Rahmen | 93 |
| 7.1.3 | Rolle der Versuchsleiterin | 94 |
| 7.1.4 | Untersuchtes Material und Auswertung des Materials | 95 |
| 7.2 | Darstellung und Diskussion der Ergebnisse des Experiments | 96 |
| 8. | Beantwortung der Forschungsfragen | 103 |
| 9. | Erweiterter Lösungsansatz – BIOscrabble Reloaded | 105 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 9.1 | BIOscrabble Reloaded | 105 |
| 9.2 | BIOscrabble Reloaded – Leitfaden | 107 |
| 10. | Ergänzende Diskussion und Grenzen der Lösungsansätze | 115 |
| 11. | Zusammenfassung und Fazit | 117 |
| 12. | Zukünftige Forschungs- und Umsetzungsmöglichkeiten | 119 |
| 13. | Literaturverzeichnis | 123 |
| 13.1 | Studienarbeiten | 123 |
| 13.2 | Veröffentlichungen | 124 |
| 14. | Anhang | 143 |
| 14.1 | Fallbeispiel Spinnseide | 143 |
| 14.2 | Suchworte der ^E Studienteilnehmer | 145 |
| 14.3 | Tabellarische Dokumentation der Lösungssuche der ^E Studienteilnehmer | 151 |
| 14.4 | Nützliche Suchanfragen der ^E Studienteilnehmer | 170 |
| 14.5 | Bionische Lösungsideen der ^E Studienteilnehmer | 172 |
| 14.5.1 | Problem Wasseraufbereitung | 172 |
| 14.5.2 | Problem Aquaplaning | 173 |
| 14.5.3 | Problem Wärmeleitung | 174 |
| 14.5.4 | Problem Selbstschärfung | 178 |
| 14.5.5 | Problem Spannungsreduzierung | 180 |
| 14.5.6 | Problem Haartrocknung | 188 |
| 14.5.7 | Problem Befestigung | 190 |
| 14.5.8 | Problem Seil-Motor-Anbindung | 194 |
| 14.6 | PubMed-Inspirationen in AskNature | 199 |
| 14.7 | Zur Verfügung gestelltes Material des Fokusexperiments | 201 |
| 14.8 | Favorisierte Suchworte der Versuchsteilnehmer | 204 |
| 14.9 | PubMed-Publikationen für die Suchanfragen der Versuchsteilnehmer | 206 |
| 14.10 | Beispielvisualisierung von PubMed-Zeitschriftenclustern | 210 |
| 15. | Glossar | 211 |

1. Einführung

„Was haben Proteinnetzwerke und Gepäckstücke gemeinsam?“ und „Wie können Proteinnetzwerke dabei helfen, mein Gepäckstück und dessen Inhalt zu schützen?“.



Die Antwort auf die erste Frage ist: die Worte *ensure*, *bond*, *tension* und *stress*. Die Antwort auf die zweite Frage ist Bionik.

In der Bionik werden technische Probleme mit Hilfe der Biologie zu lösen versucht. Das Potential biologischer Systeme – egal ob auf Molekül- oder Ökosystemebene –, Lösungen für technische Probleme zu bieten wurde bereits von Leonardo da Vinci erkannt, ist aber spätestens seit der Erfolgsgeschichte des Haken- und Flauschverschlusses (auch bekannt unter Klettverschluss) von VELCRO® (Kapitel 3.3.2) unbestritten. Der Reiz, biologische Systeme als Ideengeber für technische Systeme heranzuziehen liegt u. a. in der Tatsache, dass diese nahezu perfekt an die sie umgebenden Umweltbedingungen angepasst sind. Für technische Systeme mit gleicher oder ähnlicher Umwelt kann die Biologie zu situations- und ressourcenoptimierten Lösungen anregen.

Der Haken- und Flauschverschluss von VELCRO® wurde inspiriert durch die zufällige Entdeckung der Klette, welche mit ihren Haken im Fell des Hundes des Schweizer George de Mestral haften blieb (Fa. Velcro GmbH 2015). Nach der technischen Lösung des Haken- und Flauschverschlusses wurde nicht gezielt gesucht. Um das Potential der Biologie auf Wunsch ausschöpfen zu können, eignen sich zufällige biologische Inspirationen zu technischen Produkten nicht.

Zur Unterstützung einer gezielten Suche nach biologischen Lösungen bzw. Inspirationen für das Lösen konkreter technischer Probleme wurde auf wissenschaftlicher Seite eine Vielzahl verschiedener Ansätze entwickelt (Kapitel 3.4), ebenso zur Unterstützung der Übertragung biologischer Lösungen in die Technik – u. a. von Chakrabarti et al. (2005), Vattam et al. (2011), Vattam und Goel (2011), Vandevenne et al. (2015b) und Shu und Cheong (2014) – und der Kommunikation zwischen den Disziplinen Technik und Biologie – u. a. von Hashemi Farzaneh et al. (2015) und Jordan (2008, S. 101–121).

Diese Arbeit fokussiert auf die Unterstützung der Suche nach biologischen Lösungen bzw. Inspirationen ausgehend von einem technischen Problem (*Top Down*-Bionik: Kapitel 3.3.2).

Das Vorhandensein eines inspirierenden biologischen Systems ist die Grundvoraussetzung für bionische Entwicklungen. Ohne biologisches System sind nachgelagerte Entwicklungsschritte wie das Verstehen und Übertragen biologischer Lösungen in die Technik nicht möglich. Das systematische Unterstützen des Findens – auch nicht offensichtlicher – vielfältiger biologischer Lösungen ist der erste Schritt zur Ausschöpfung des Potentials der Bionik auf Wunsch (Shu et al. 2011, S. 691).

Die Gründe für die Entscheidung für die *Top Down*-Bionik in dieser Arbeit waren: Im Gegensatz zur *Bottom Up*-Bionik kann die *Top Down*-Bionik zur Lösung eines konkreten Problems genutzt werden (Kapitel 3.3.2). Neben der Tatsache, dass die *Top Down*-Bionik typischerweise schneller (sechs bis 18 Monate) zu erfolgreichen Produkten führen kann als die *Bottom-Up* Bionik (drei bis sieben Jahre) (Otto und Speck 2011, S. 104–105) stellt dies für Unternehmen den wahrscheinlich attraktiveren Weg in die Bionik dar.

1.1 Problemstellung und Motivation

Dieses Kapitel legt Problemstellung und Motivation dieser Arbeit dar. Die Problemstellung wird aus wissenschaftlicher und praktischer Perspektive beleuchtet. Aus der Gesamtproblemstellung, also der Quintessenz beider Perspektiven, leiten sich die Motivation sowie die in Kapitel 1.2 dargelegte Zielsetzung und der erwartete Beitrag der Arbeit ab.

1.1.1 Problemstellung – Wissenschaftliche Perspektive

Wie oben aufgeführt, existiert auf wissenschaftlicher Seite eine Reihe von Ansätzen zur Unterstützung der Bionik bzw. der Lösungssuche in der Bionik.

Es gibt verschiedene Datenbasen, die entwickelt wurden, um besonders Ingenieure bei der Suche und Übertragung biologischer Lösungen in die Technik zu unterstützen. Die enthaltene biologische Information ist in allen Fällen ein ausgewählter Ausschnitt der verfügbaren biologischen Information und in den meisten Fällen für Ingenieure verständlich aufbereitet. In einigen Fällen dienen ausgeklügelte Modelle der Aufbereitung der Information (Kapitel 3.4.1). Datenbasen haben den Vorteil, dass die in ihnen enthaltene Information für die Bionik relevant ist, da diese aufgrund ihrer Relevanz in die Datenbank aufgenommen wurde. Die Kehrseite dieses Vorteils ist, dass

- Auswahl und Editieren der hinterlegten Information subjektiv geprägt sind und so der Raum verfügbarer biologischer Lösungen bzw. Lösungsdetails eingeschränkt wird.
- der manuelle Aufbau sowie die Aktualität einer Datenbank mit hohem Aufwand verbunden bzw. kaum zu gewährleisten sind.

Das Problem des Aufwands für Aufbau und Aktualität adressieren Ansätze zur automatischen Erschließung bionisch relevanter Information. Diese unterstützen entweder dabei, bionisch relevante Information zu sammeln oder biologische Information nach solcher zu durchsuchen (Kapitel 3.4.2).

Die einzige Möglichkeit, auch eine Einschränkung des Lösungsraums zu vermeiden ist, die direkte Nutzung biologischer Informationsquellen² zu unterstützen (Kapitel 3.4.3). Eine sehr umfassende und aktuelle Quelle biologischer Information sind biologische Publikationen³. Die Inhalte der übrigen biologischen Informationsquellen basieren auf diesen bzw. zeigen nur einen Ausschnitt der in Publikationen enthaltenen biologischen Information (Kapitel 5.1.4).

Für die Nutzung biologischer Informationsquellen wurden unterstützende Ansätze entwickelt, ein Ansatz speziell für die Unterstützung der systematischen Nutzung biologischer Publikationen fehlt allerdings. Unterstützung bei der Formulierung des technischen Problems, für das eine Lösung gesucht wird, und der Wahl der Suchworte zur Suche in der Biologie existiert für die Suche in Biologielehrbüchern oder in allgemeiner Form; die systematische Generierung von Suchworten zur Suche speziell in biologischen Publikationen aus technischen Problemstellungen wurde bisher nicht unterstützt (Kapitel 3.4.4). Shu und Cheong (2014) nennen hierfür einen Grund; sie nehmen an, dass die Fachsprache in biologischen Publikationen bei Ingenieuren zu Verständnisschwierigkeiten und so zu Frustration führt. Studien, die dies bestätigen oder das Vorgehen von Ingenieuren alleine und speziell bei der Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen untersuchen, stehen nicht zur Verfügung.

1.1.2 Problemstellung – Praktische Perspektive

Trotz ihrer wachsenden Präsenz in der Wissenschaft⁴ und des positiven Einflusses der zur Verfügung stehenden Ansätze auf die Entwicklung bionischer Lösungen nutzen nur wenige innovative Unternehmen Bionik zur Problemlösung. Viele Unternehmen stehen Investitionen in Bionikprojekte skeptisch gegenüber oder sind nur begrenzt fähig diese zu tätigen (Banthin 2014; Gleich et al. 2007, S. 202–206; Oertel und Grunwald 2006, S. 132). Vor allem „kleine und mittlere Unternehmen, haben oft Schwierigkeiten einen Zugang zur Bionik zu finden und diese in ihre Produktentwicklung zu integrieren“ (Banthin 2014, S. 40) – häufig aufgrund von fehlendem biologischen Wissen oder fehlender Erfahrung mit der Bionik (Banthin 2014). An dieser Stelle greifen Bionik-Beratungen wie *die Bioniker* (Hollermann und Förster o. J.) oder *Bionic Consult* (Rummel o. J.) sowie Organisationen wie das Bionik-Kompetenznetz e. V. *BIOKON* (BIOKON - Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetz e.V.) und das *Kompetenznetz Biomimetik* (Speck o. J.) an, indem sie Unternehmen durch Beratung diesen Zugang erleichtern.

Bezogen auf die Lösungssuche in der Bionik in der Praxis weisen Banthin (2014) und Rummel (2014, S. 205) auf die Bedeutung von biologischen Publikationen hin. Biologische Lösungen für technische Probleme in diesen zu suchen, kann von Ingenieuren in Unternehmen allerdings nicht geleistet werden (Banthin 2014). Laut Banthin (2014) ist hierzu die Kenntnis biologischer

² Eine Übersicht über relevante biologische Informationsquellen ist Kapitel 3.2.4 zu entnehmen.

³ Eine biologische Publikation ist in dieser Arbeit immer eine wissenschaftliche biologische Publikation.

⁴ Das Forschungsfeld der Bionik wuchs von weniger als 100 Veröffentlichungen pro Jahr in den 90er Jahren auf mehrere 1000 pro Jahr im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts (Lepora et al., 2013).

Fachbegriffe sowie Erfahrung im Umgang mit wissenschaftlichen biologischen Informationsquellen – wie biologischen Publikationen – nötig, aber nicht vorhanden.

1.1.3 Motivation

Die Quintessenz aus den Problemstellungen für Wissenschaft und Praxis ist:

Es fehlt ein auf Ingenieure zugeschnittenes, strukturiertes Vorgehen zur Unterstützung der Nutzung biologischer Publikationen für das Suchen und Finden von biologischen Lösungen für technische Probleme.

Biologische Publikationen sind aus unterschiedlichen Gründen (Kapitel 5.1.4) die für eine möglichst vollständige Ausschöpfung des Potentials der Bionik prädestinierte, wenn nicht einzig mögliche, Quelle verfügbarer biologischer Information.

Wissenschaftliche wie auch praktische Motivation zur Schließung dieser Lücke ist daher die

Förderung der Entwicklung innovativer bionischer Lösungen durch die Unterstützung von Ingenieuren bei der eigenständigen Erschließung des größtmöglichen zur Verfügung stehenden biologischen Lösungsraums über biologische Publikationen.

Die Annahme, dass eine Erweiterung des Lösungsraums die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung innovativer Lösungen bzw. Produkte erhöht, unterstützen auch Gassmann und Zeschky (2008). Deigendesch (2009, S. 94) sieht einen positiven Zusammenhang zwischen dem Potential einer Lösungsidee zur Innovation und einem weit geöffneten Lösungsraum.

Die Bedeutung einer Unterstützung von Ingenieuren bei der eigenständigen Erschließung biologischer Publikationen ist:

- Unternehmen wird ein einfacher Zugang zur Bionik ermöglicht. Sie werden befähigt ohne externe Hilfestellung nach biologischen Lösungen für technische Probleme zu suchen. Dies ermöglicht es ihnen, eigenständig in die Bionik einzutauchen, was die in Kapitel 1.2.2 angesprochene Skepsis gegenüber Investitionen in die Bionik (z. B. in Bionikberatungen) zunächst hinfällig macht.
- In Wissenschaft und Praxis kann die Ausschöpfung des Potentials der Bionik zur Lösung technischer Probleme durch Ingenieure im Vergleich zum Istzustand verbessert werden.

1.2 Zielsetzung und erwarteter Beitrag

Dieses Kapitel legt die aus Problemstellung und Motivation für diese Arbeit abgeleitete Zielsetzung sowie den von ihr zu erwartenden Beitrag für Wissenschaft und Praxis dar.

Hauptziel dieser Arbeit ist die

Befähigung von Ingenieuren, den über biologische Publikationen zur Verfügung gestellten biologischen Lösungsraum eigenständig und ohne Kenntnis biologischer Fachbegriffe bzw. Erfahrung im Umgang mit biologischen Publikationen für die Lösungssuche in der Bionik zu nutzen.

Damit zusammenhängende Nebenziele sind:

1. der Aufbau eines Verständnisses über den Umgang von Ingenieuren mit einer Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen.
2. der Aufbau eines Verständnisses über die Nützlichkeit bestimmter Suchwortarten für das Suchen und Finden biologischer Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen.
3. die Unterstützung der Integration der Lösungssuche in der Bionik in den Gesamtprozess der Bionik. Darunter fallen Schritte wie die Übertragung von Lösungen aus der Biologie in die Technik oder die Kommunikation zwischen den Disziplinen.

Zur Erreichung dieser Ziele sind die von der Arbeit erwarteten Beiträge folgende:

Der Hauptbeitrag ist die

Bereitstellung eines auf Ingenieure zugeschnittenen, strukturierten Vorgehens zur Unterstützung der eigenständigen Nutzung biologischer Publikationen für das Suchen und Finden von biologischen Lösungen für technische Probleme.

Weitere erwartete Nebenbeiträge sind:

1. die Bereitstellung einer Datengrundlage zur Analyse des Umgangs von Ingenieuren mit einer Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen sowie der Nützlichkeit bestimmter Suchworte für das Suchen und Finden biologischer Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen.
2. die Bereitstellung von Schnittstellen zu bestehenden Ansätzen zur Unterstützung von Schritten im Gesamtprozess der Bionik wie der Übertragung von Lösungen aus der Biologie in die Technik oder der Kommunikation zwischen den Disziplinen.

Ziele und erwartete Beiträge der Arbeit hängen wie folgt zusammen:

- Der erwartete Hauptbeitrag der Arbeit ist die Erfüllung des Hauptzieles.
- Der erwartete Nebenbeitrag 1 ist die Erfüllung der Nebenziele 1 und 2 sowie die Steigerung der Qualität des Hauptbeitrags. Die durch den erwarteten Nebenbeitrag 1 bereitgestellten Daten dienen neben oben genanntem Verständnisaufbau der Weiterentwicklung des strukturierten Vorgehens für Ingenieure zur Unterstützung der eigenständigen Nutzung biologischer Publikationen für das Suchen und Finden von biologischen Lösungen für technische Probleme.
- Der erwartete Nebenbeitrag 2 ist die Erfüllung des Nebenziels 3. Durch die Bereitstellung von Schnittstellen zum Gesamtprozess der Bionik werden Ingenieuren Möglichkeiten aufgezeigt, nach dem Finden einer biologischen Lösung für ein technisches Problem Unterstützung für weitere Schritte, wie deren Transfer in die Technik, einzuholen.

Abbildung 1-1 gibt eine Übersicht über die Verknüpfung von Zielsetzung und erwartetem Beitrag dieser Arbeit sowie deren Entstehung aus Problemstellung und Motivation.

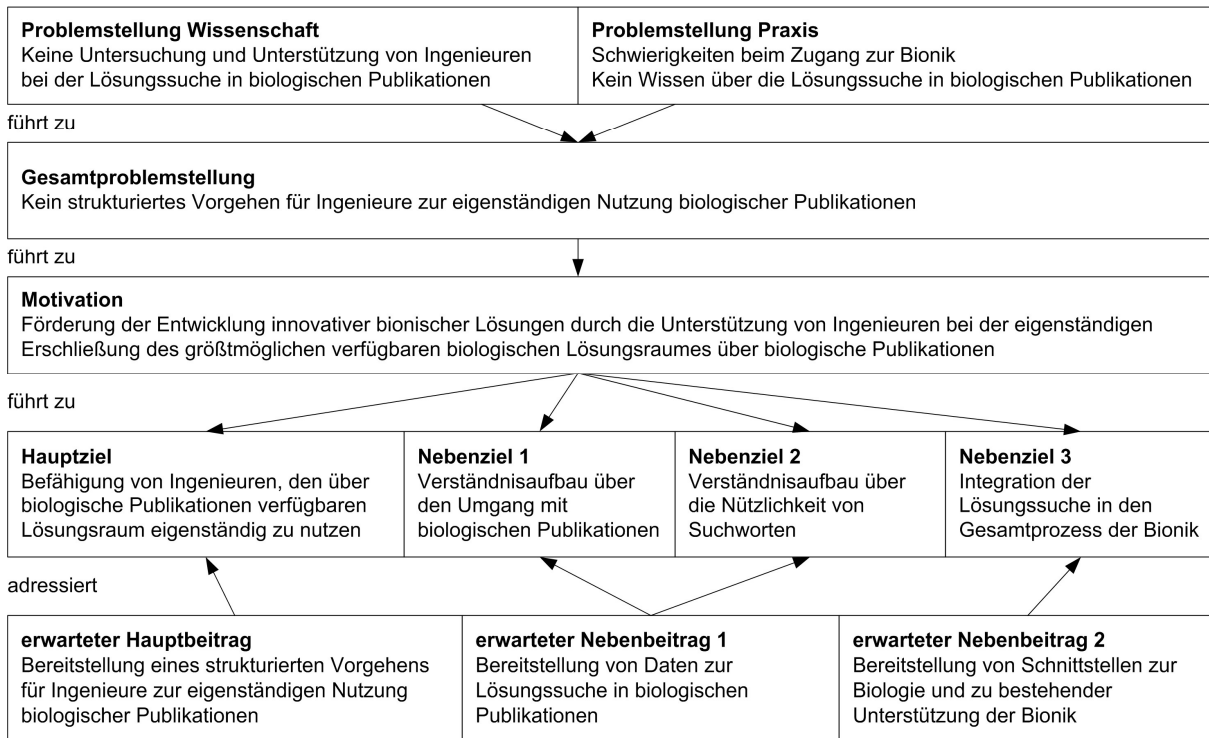


Abbildung 1-1: Übersicht über Problemstellung, Motivation, Zielsetzung und erwartetem Beitrag dieser Arbeit

1.3 Struktur der Arbeit

Dieses Kapitel zeigt die Struktur dieser Arbeit (Abbildung 1-2).

Aus dem in Kapitel 1 dargelegten Fokus der Arbeit sowie der Problemstellung, der Motivation, der Zielsetzung und dem von der Arbeit erwarteten Beitrag ergibt sich die in Kapitel 2 gestellte zentrale Forschungsfrage. Kapitel 2 illustriert zusätzlich den für die Arbeit gewählten Forschungsansatz.

Kapitel 3 legt den für die Arbeit relevanten Stand der Forschung in Produktentwicklung, Biologie und Bionik dar. Dieser ist die Basis für die in Kapitel 4 gestellten Teilforschungsfragen sowie den initialen Lösungsansatz *BIOscrabble*.

BIOscrabble ist die initiale Version des Hauptbeitrags der Arbeit, wird in Kapitel 5 entwickelt und illustriert sowie in den Kapiteln 6 und 7 evaluiert.

Kapitel 6 beschreibt die Evaluation der Anwendung von *BIOscrabble* in einer qualitativen Studie. Der Aufbau der Studie wird dargelegt, die Studienergebnisse werden dargestellt und diskutiert.

Kapitel 7 beschreibt die Erfolgsevaluation eines Bausteins von *BIOscrabble* in einem quantitativen Fokusexperiment. Der Aufbau des Experiments wird dargelegt, die Ergebnisse des Experiments werden dargestellt und diskutiert.

| | | | |
|--|--|------------------------------------|---------------------------|
| 1. Einführung in vorliegende Arbeit | | | |
| 1.1 Fokus | 1.2 Problemstellung und Motivation | | |
| | 1.3 Zielsetzung und erwarteter Beitrag | | |
| | Hauptziel | Nebenziel 1 | Nebenziel 2 |
| | erwarteter Hauptbeitrag | erwarteter Nebenbeitrag 1 | erwarteter Nebenbeitrag 2 |
| 1.4 Struktur der Arbeit | | | |
| 2. Zentrale Forschungsfrage und Forschungsansatz | | | |
| 2.1 Zentrale Forschungsfrage | | | |
| 2.2 Zentraler Forschungsansatz | | | |
| 3. Bionik in der Produktentwicklung | | | |
| 3.1 Problemlösung in der Produktentwicklung | | 3.2 Kurzeinführung in die Biologie | |
| 3.3 Kurzeinführung in die Bionik | | | |
| 3.4 Lösungssuche in der Bionik | | | |
| 4. Teilforschungsfragen | | | |
| 5. Initialer Lösungsansatz – <i>BIOscrabble</i> | | | |
| 5.1 Entwicklung | | Hauptbeitrag (initial) | |
| 5.2 Illustration | | | |
| 6. Qualitative Anwendungsevaluation von <i>BIOscrabble</i> | | | |
| 6.1 Aufbau der Studie | | Nebenbeitrag 1 | |
| 6.2 Darstellung und Diskussion der Studienergebnisse | | | |
| 7. Quantitative Erfolgsevaluation des <i>BIOscrabble</i>-Bausteins <i>Suchwortarten</i> | | | |
| 7.1 Aufbau des Experiments | | Nebenbeitrag 1 | |
| 7.2 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse des Experiments | | | |
| 8. Beantwortung der Forschungsfragen | | | |
| 9. Erweiterter Lösungsansatz – <i>BIOscrabble Reloaded</i> | | | |
| 9.1 <i>BIOscrabble Reloaded</i> | | Hauptbeitrag (erweitert) | |
| 9.2 <i>BIOscrabble Reloaded</i> – Leitfaden | | | |
| 9.2 <i>BIOscrabble Reloaded</i> – Leitfaden | | Nebenbeitrag 2 | |
| 10. Ergänzende Diskussion und Grenzen der Lösungsansätze | | | |
| 11. Zusammenfassung und Fazit der Arbeit | | | |
| 12. Zukünftige Forschungs- und Umsetzungsmöglichkeiten | | | |

Gesamtdiskussion der Ergebnisse der Arbeit

Abbildung 1-2: Übersicht über die Struktur dieser Arbeit

Die Ergebnisse der Evaluationen sind der Nebenbeitrag 1 der Arbeit und bilden die Basis für die Beantwortung der in der Arbeit gestellten Forschungsfragen in Kapitel 8. Auf Grundlage der Antworten wird *BIOscrabble* erweitert.

Der erweiterte Lösungsansatz *BIOscrabble Reloaded* ist die erweiterte Version des Hauptbeitrags der Arbeit und liefert Nebenbeitrag 2. *BIOscrabble Reloaded* wird in Kapitel 9 illustriert.

Kapitel 10 diskutiert *BIOscrabble* und *BIOscrabble Reloaded* abschließend und zeigt dessen Grenzen auf. Die bereits in den Kapiteln 6 und 7 diskutierten Punkte werden hier angesprochen, aber nicht wiederholt.

Kapitel 11 fasst die Arbeit zusammen und zieht unter Bezugnahme auf die Zielstellung sowie den erwarteten Beitrag der Arbeit (Kapitel 1) ein abschließendes Fazit.

Die Arbeit schließt in Kapitel 12 mit einem Ausblick auf zukünftige Anknüpfungspunkte für Wissenschaft und Forschung an die Ergebnisse der Arbeit.

2. Zentrale Forschungsfrage und Forschungsansatz

Hauptziel dieser Arbeit ist es, Ingenieure zu befähigen, biologische Publikationen eigenständig und ohne biologische Fachkenntnis oder Erfahrung für die Lösungssuche in der Bionik zu nutzen. Zur Entwicklung eines strukturierten Vorgehens zur Erfüllung dieses Ziels wird das Vorgehen von Ingenieuren bei der Suche nach biologischen Lösungen für ein gegebenes technisches Problem in biologischen Publikationen untersucht.

2.1 Zentrale Forschungsfrage

Die Untersuchung erfolgt überwiegend qualitativ. Nach Creswell (2013, S. 140) ist die Intention qualitativer Forschung das Untersuchen des Zusammenspiels verschiedener Faktoren – hier Ingenieure, die mit Suchworten nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen suchen – eines zentralen Themas – hier die Lösungssuche in der Bionik – und das Aufzeigen verschiedenartiger Perspektiven auf dieses – hier das Vorgehen sowie die Ansichten der untersuchten Gruppe Ingenieure.

Die zentrale Forschungsfrage für diese Arbeit ist:

Wie kann ein strukturiertes Vorgehen aussehen, das Ingenieure dabei unterstützt, eigenständig biologische Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen zu suchen und zu finden?

Da nach Creswell (2013, S. 139) für qualitative Untersuchungen keine Hypothesen aufgestellt werden, wird auf eine Hypothese zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage verzichtet.

Nach Analyse des Stands der Forschung werden auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse Teilforschungsfragen formuliert, die die zentrale Forschungsfrage spezifizieren (Kapitel 4).

2.2 Forschungsansatz

Dieses Kapitel legt den zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage – sowie den dazugehörigen Teilforschungsfragen – verwendeten Forschungsansatz dar (Abbildung 2-1).

Die Herleitung der Problemstellung, Motivation und Zielsetzung der Arbeit sowie die Beschreibung des Stands der Forschung auf untersuchten Gebieten – der Bionik, speziell der Lösungssuche in der Bionik sowie Produktentwicklung und Biologie – sind literaturbasiert.

Auch die Entwicklung des initialen Lösungsansatzes zur Unterstützung des Vorgehens von Ingenieuren bei der Suche nach biologischen Lösungen für ein gegebenes technisches Problem in biologischen Publikationen ist literaturbasiert – komplementiert durch das für den Ansatz und die Bionik relevante Fallbeispiel Spinnseide.

Die Evaluation des initialen Lösungsansatzes erfolgt in zwei Teilen.

- Eine Anwendungsevaluation des initialen Lösungsansatzes erfolgt über eine qualitative Studie mit Studierenden des Maschinenwesens. Da für die Lösungssuche in der Bionik

keine auf die Suche in biologischen Publikationen zugeschnittene Unterstützung existiert, soll die Studie einen Hinweis darauf geben, ob der initiale Lösungsansatz von auf diesem Gebiet unerfahrenen Ingenieuren ohne Vorkenntnisse hierfür genutzt werden kann und wie diese Nutzung aussehen bzw. verbessert werden kann. Ein Teil der über die Studie gewonnenen qualitativen Ergebnisse hat quantitativen Charakter und wird in der Arbeit quantitativ aufbereitet. Details zum Forschungsansatz der Studie können Kapitel 6.1 entnommen werden.

- Eine Erfolgsevaluation eines Bausteins des initialen Lösungsansatzes (Suchwortarten – Kapitel 7) erfolgt über ein quantitatives Fokusexperiment mit Studierenden des Maschinenwesens und Mitarbeitern des Lehrstuhls für Produktentwicklung der Technischen Universität München. Das Fokusexperiment soll Aufschluss darüber geben, ob die für den initialen Lösungsansatz entwickelte Unterstützung bei der Wahl der Suchwortart für eine Lösungssuche in biologischen Publikationen zu mehr verschiedenen biologischen Publikationen führen kann als die Nutzung der bisher für die Lösungssuche in der Bionik empfohlenen Arten von Suchworten. Die Annahme ist, dass mehr verschiedene biologische Publikationen mehr biologische Lösungen beinhalten, der Lösungsraum für das Lösen technischer Probleme so geöffnet wird und damit die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung innovativer Produkte erhöht wird (Gassmann und Zeschky 2008; Deigendesch 2009, S. 94). Mehr verschiedene biologische Publikationen bedeuteten demnach einen Vorzug des initialen Lösungsansatzes gegenüber bestehenden Ansätzen zur direkten Lösungssuche in biologischen Informationsquellen.

Die Ergebnisse aus Studie und Experiment sind Basis für die Weiterentwicklung des initialen Lösungsansatzes.

Aus der Weiterentwicklung resultiert ein erweiterter Lösungsansatz (inklusive Anwendungsleitfaden), der darauf abzielt, Ingenieure bei der Suche nach biologischen Lösungen für ein gegebenes technisches Problem in biologischen Publikationen in ihrem Vorgehen besser zu unterstützen als der initiale Lösungsansatz.

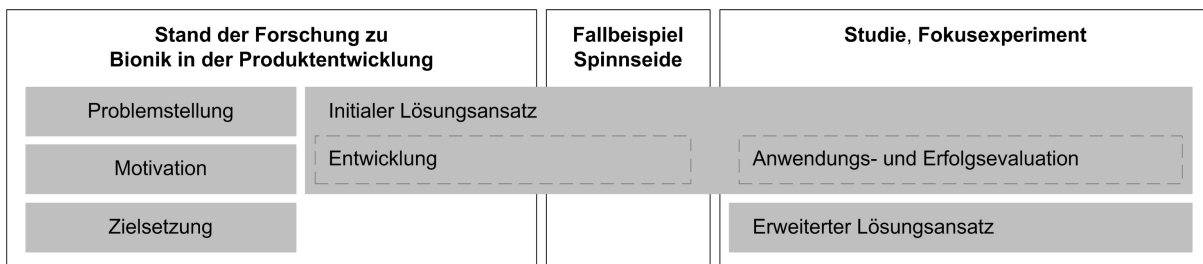


Abbildung 2-1: Übersicht über den Forschungsansatz dieser Arbeit

3. Bionik in der Produktentwicklung

Dieses Kapitel beschreibt den Stand der Forschung auf dem Gebiet der Bionik, speziell der Lösungssuche in der Bionik, sowie zweier zugrundeliegender Gebiete – Problemlösung in der Produktentwicklung und Biologie.

Abbildung 3-1 gibt eine Übersicht über das Ineinandergreifen der beschriebenen Forschungsgebiete.

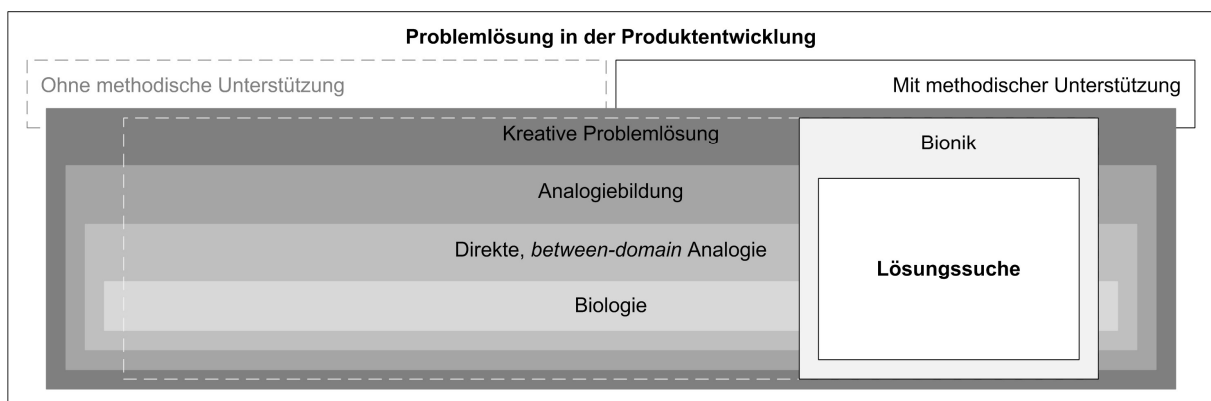


Abbildung 3-1: Übersicht über das Ineinandergreifen der beschriebenen Forschungsgebiete

Spezialgebiete innerhalb der betrachteten Gebiete, wie der Einfluss von Denken und Handeln einzelner Individuen auf deren Lösungssuche bzw. Problemlösung oder das Suchen von Informationen im Internet, werden in den folgenden Kapiteln angerissen, in diesem Kapitel aber nicht gesondert vorgestellt.

Der Stand der Forschung ist u. a. Basis für die in Kapitel 4 dargelegten Teilforschungsfragen.

3.1 Problemlösung in der Produktentwicklung

Dieses Kapitel gibt einen groben Überblick über Möglichkeiten, in der Produktentwicklung technische Probleme zu lösen. Der Schwerpunkt liegt auf dem Lösen technischer Probleme über Analogien (mit Ausnahme biologischer Analogien, welche in Kapitel 3.3 gesondert adressiert werden).

3.1.1 Begriffsklärung

Nach Ponn und Lindemann (2011, S. 9) ist die Produktentwicklung dadurch charakterisiert, dass von einem oder mehreren Entwicklern Konzepte und Gestaltlösungen für technische Produkte generiert werden.

Die Entwicklung dieser Konzepte und Gestaltlösungen kann durch technische Probleme angestoßen werden. Ein Problem ist laut Dörner (1987, S. 10) folgendermaßen definiert: „Ein Individuum steht einem Problem gegenüber, wenn es sich in einem inneren oder äußeren Zustand befindet, den es aus irgendwelchen Gründen nicht für wünschenswert hält, aber im Moment nicht über die Mittel verfügt, um den unerwünschten Zustand in den wünschenswerten Zielzustand zu überführen.“ Ähnliche Definitionen stellen Lindemann (2009, S. 289) und Ehrlenspiel (2013, S. 56) bereit. Ehrlenspiel (2013) ergänzt, dass das Aussehen des wünschenswerten Zielzustands dem Individuum möglicherweise nicht bekannt ist.

Probleme werden durch Operationen (konkrete Handlungen) gelöst, welche den anfänglichen unerwünschten Zustand in den Zielzustand zu transformieren versuchen (Dörner 1987, S. 15).

3.1.2 Vorgehensweisen bei der Problemlösung

Ideen für die Entwicklung technischer Lösungen für technische Probleme können ohne methodische Unterstützung oder methodisch unterstützt generiert werden.

Ein Modell für ein natürliches, d. h. methodisch nicht unterstütztes, Vorgehen bei der Problemlösung ist das *TOTE*-Schema. Das *TOTE*-Schema geht von einer von Menschen (oder Tieren) durch Testen (*Testphase T*) festgestellten mangelnden Übereinstimmung von tatsächlichem und angestrebtem Zustand aus. Solange der angestrebte Zustand nicht erreicht ist, werden Handlungen ausgeführt (*Handlungs- oder Operationsphase O*). Die Schleife aus Test- und Handlungsphase wird abgebrochen, wenn eine Übereinstimmung von tatsächlichem und angestrebtem Zustand festgestellt wird (*Exit E*) (Miller et al. 1973, S. 8; Lindemann 2009, S. 35).

Bei der Ideengenerierung methodisch unterstützen können intuitive und logische Ideengenerierungsmethoden. Intuitive Methoden stimulieren unterbewusste Denkprozesse, während logische Methoden auf einer systematischen Analyse des Problems basieren und sich zu dessen Lösung wissenschaftlicher bzw. technischer Prinzipien und bzw. oder Katalogen mit existierenden Lösungen oder Verfahren bedienen (Shah et al. 2000, S. 377)⁵.

V. a. bei der systematischen Problemanalyse, aber auch bei der Generierung von Lösungsideen, spielt das Denken in Funktionen eine zentrale Rolle. Funktionen beschreiben die Aufgaben, die ein technisches System erfüllt oder zu erfüllen hat (Ponn und Lindemann 2011, S. 61)⁶. Die Beschreibung eines technischen Problems oder Systems anhand von Funktionen hat u. a. folgende Vorteile: Die für das Aufstellen und Verknüpfen der Funktionen notwendige Abstraktion des Problems oder Systems hilft, dessen Kern herauszuarbeiten, ermöglicht es, das Problem oder System lösungsneutral zu beschreiben und eröffnet so einen großen Raum für das Generieren von Lösungsideen (Ponn und Lindemann 2011, S. 61; Pahl et al. 2013, S. 344).

⁵ Eine Aufführung und Beschreibung der einzelnen intuitiven und logischen Methoden ist für diese Arbeit irrelevant. Einen guten Überblick über intuitive und logische Methoden und diese beschreibende Literatur geben Shah et al. (2000).

⁶ Definitionen einer Funktion von Lindemann (2009) und Feldhusen und Grote (2013b) sind Kapitel 5.1.2 zu entnehmen.

Funktionen sind der Ausgangspunkt für die Entwicklung technischer Lösungsideen, -konzepte und Gestaltlösungen (VDI 1993, S. 9; Ehrlenspiel 2013, S. 347–353; Feldhusen und Grote 2013a, S. 22; Ponn und Lindemann 2011, S. 26–28; Ulrich und Eppinger 2003, S. 99–103). Die Fähigkeit in Funktionen denken zu können ist daher ein Merkmal „guter Problemlöser“ (VDI 1993, S. 5) und wird dementsprechend bereits in der Ingenieurausbildung gelehrt wie Standardwerke wie Pahl et al. (2013, S. 344–347), Lindemann (2009, S. 116–130), Ponn und Lindemann (2011, S. 61–84) und Ulrich und Eppinger (2003, S. 99–103) zeigen. In der Praxis führt ein Denken in Funktionen häufig zu innovativen technischen Lösungen (Pahl und Wallace 2002, S. 119).

Unabhängig von dem Vorhandensein einer methodischen Unterstützung (wie dem Denken in Funktionen) ist zur Generierung innovativer Lösungsideen für technische Probleme Kreativität erforderlich (Lindemann 2009, S. 25; Schlicksupp 2004, S. 30). Nach einer Übersetzung der Kreativitätsdefinition von Drevdahl (1956) durch Schlicksupp (2004, S. 32) ist Kreativität „die Fähigkeit von Menschen, [...] Produkte oder Ideen [...] hervorzubringen, die [...] neu sind und dem Schöpfer vorher unbekannt waren. Das kreative Ergebnis muss nützlich und zielgerichtet sein und darf nicht in reiner Phantasie bestehen – obwohl es nicht unbedingt sofort praktisch angewendet zu werden braucht oder perfekt und vollständig sein muss.“

Während der kreativen Problemlösung wird ein Problem erkannt, analysiert und unterbewusst verarbeitet. Ergebnis der Verarbeitung ist eine Lösungsidee, welche dann dahingehend überprüft wird, ob sie in der Lage ist, das technische Problem zu lösen (Schlicksupp 2004, S. 39–40).

Eine Möglichkeit, die kreative Problemlösung zu stimulieren ist die Analogiebildung (Shen und Lai 2014, S. 1159).

3.1.3 Analogienbasierte Problemlösung

Die Analogiebildung ist u. a. Kern der intuitiven Ideengenerierungsmethode Synektik; sie dient dort der kreativen Problemlösung (Gordon, W. J. J. 1961, S. 33–56). Sie ist laut Dörner (1987, S. 81) die „via regia der Suchraumerweiterung“, was – neben der Notwendigkeit des Vorhandenseins von Kreativität – die Entwicklung innovativer Produkte begünstigt (Deigendesch 2009, S. 94; Gassmann und Zeschky 2008). Die Bedeutung der Analogiebildung für Innovationsprozesse betonen auch (Linsey et al. 2006).

Analogie an sich bedeutet „Entsprechung, Ähnlichkeit, Gleichheit von Verhältnissen“ (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.).

In der Synektik wird zwischen *personal* (persönlichen), *symbolic* (symbolischen), *fantasy* (Fantasie-) und *direct* (direkten) Analogien unterschieden (Gordon, W. J. J. 1961, S. 36). Für diese Arbeit sind nur die direkten Analogien relevant, dementsprechend werden auch nur diese im Folgenden näher erläutert.

Bei den direkten Analogien kann unterschieden werden zwischen *within-domain analogies* – Analogien innerhalb eines oder mehrerer nah verwandter Gebiete (z. B. innerhalb oder zwischen technischen Fachgebieten) – und *between-domain analogies* – Analogien zwischen nicht verwandten Gebieten (z. B. der Technik und der Biologie) (Shu et al. 2007).

Angelehnt an den von Dörner (1987) beschriebenen allgemeinen Prozess der Analogiebildung können Analogien in der Produktentwicklung folgendermaßen zur Problemlösung genutzt werden:

1. Das betrachtete technische Problem bzw. System wird abstrahiert.
2. Es wird nach einer Analogie für die abstrakte Beschreibung des technischen Problems bzw. Systems gesucht.
3. Die Analogie oder Teile der Analogie werden auf das betrachtete technische Problem bzw. System übertragen, mit dem Ziel, dieses zu lösen bzw. zu verbessern.

Die Basis vieler existierender Ansätze zur Unterstützung dieser Schritte sind Funktionen (Linsey et al. 2006; Linsey et al. 2012; Linsey et al. 2008; McAdams und Wood 2002; Nakamura 2003; Bhatta et al. 1994; Goel und Bhatta 2004).

Linsey et al. (2008) fanden heraus, dass die Suche und Nutzung von Analogien abhängig von der Beschreibung des betrachteten technischen Problems bzw. Systems und der Beschreibung der Analogie ist. Funktionale Beschreibungen wurden untersucht und als für die Analogiesuche und -nutzung geeignet erachtet. Die Eignung von Funktionen technischer Probleme oder Systeme zeigen, u. a., auch die Arbeiten von McAdams und Wood (2002) sowie Linsey et al. (2012). McAdams und Wood (2002) entwickelten eine funktionsbasierte Unterstützung für die Suche nach und Eignungsbewertung von *within-domain* Analogien. Linsey et al. (2012) entwickelten eine funktionsbasierte Unterstützung für die Suche nach *distant-domain* (oder *between-domain*) Analogien.

Zusätzlich zu oder statt Funktionen spielen in existierenden Ansätzen zur Unterstützung der Analogiebildung folgende Aspekte technischer Probleme bzw. Systeme eine Rolle:

- Die auf Analogiebildung basierende Problemlösungsmethode *NM Method* nutzt Funktionen und Eigenschaften⁷ des betrachteten technischen Problems für die Suche nach Analogien. Für die Übertragung der Analogien werden die der Analogie zugrundeliegenden Lösungsprinzipien genutzt (Nakamura 2003).
- In der Methodik des erfinderischen Problemlösens *TRIZ* stellen Altschuller und Altov (1996) für die Analogienutzung, u. a., Prinzipien zur Lösung technischer Widersprüche auf Wirkebene⁸ bereit (Altschuller 1997).
- Das modellbasierte Analogiebildungssystem *IDeAL* (*Integrated „DEsign by Analogy“ and Learning*) nutzt *Structure-Behaviour-Function* (*SBF*)-Modelle⁹ zur Bildung von Analogien. Die *SBF*-Modelle liefern die funktionalen und kausalen Zusammenhänge

⁷ Definitionen einer Eigenschaft von Eder und Hosnedl (2007) und Ponn und Lindemann (2011) sind Kapitel 5.1.2 zu entnehmen.

⁸ Nach Ponn und Lindemann (2011) werden im Prozess der Entwicklung technischer Systeme auf Wirkebene die zur Erfüllung derer Funktionen relevanten Lösungsaspekte abgebildet.

⁹ *SBF* (oder *FBS*)-Modelle gehen zurück auf Tomiyama et al. (1989) und Gero (1990); die Bedeutungen von *Structure*, *Behaviour* und *Function* in *IDeAL* sind in Goel und Bhatta (2004) dargelegt.

für ein Verständnis darüber, wie die Form eines technischen Systems mit dessen Funktion zusammenhängt. Neben *SBF*-Modellen werden auch nur aus *Behaviour* und *Function* bestehende (*BF*)-Modelle genutzt (Goel und Bhatta 2004; Bhatta et al. 1994).

- Ein auf Analogiebildung auf struktureller Ebene, d. h. auf der Ebene konkreter technischer Lösungen, ausgelegtes System entwickelten Börner et al. (1996).

Sowohl die betrachteten technischen Probleme bzw. Systeme als auch die potentiellen Analogien für diese können in unterschiedlicher Form repräsentiert sein. Ein Großteil oben genannter Ansätze fokussiert auf semantische Repräsentationen von Problem bzw. System und Analogie. Diese können durch visuelle Repräsentationen ergänzt sein.

Für die modellbasierte Analogiebildung stellten Davies und Goel (2001) fest, dass visuelle Repräsentationen zwar ausreichen, um Analogien zu bilden, aber nicht, um deren Eignung für das betrachtete technische Problem bzw. System zu bestimmen. Casakin und Goldschmidt (2000, S. 117) fanden heraus, dass visuelle Repräsentationen v. a. für das Anfertigen von Skizzen während der Problemlösung von Bedeutung sind.

Für die Analogiensuche zeigt diese Arbeit, welche Aspekte und Repräsentationsformen technischer Probleme bzw. Systeme und Analogien für die Nutzung von *between-domain* Analogien aus dem Bereich der Biologie von Bedeutung sind.

Die Biologie ist eine wesentliche Analogienquelle für die Problemlösung mittels Analogiebildung in der Technik im Allgemeinen und der Produktentwicklung im Speziellen (Ehrlenspiel 2013, S. 383–384; Pahl et al. 2013, S. 351–352; Gleich et al. 2007, S. 182; Gordon, W. J. J. 1961, S. 56; Nachtigall 2002, S. 10; Ponn und Lindemann 2011, S. 97–99).

3.2 Kurzeinführung in die Biologie

Dieses Kapitel legt kurz die für diese Arbeit relevanten Aspekte biologischer Systeme und biologischer Forschung dar. Für die Bionik ist es von Bedeutung, zu verstehen, wie biologische Systeme aufgebaut sind und was der Fokus biologischer Forschung ist, um zu verstehen, welche Art von Lösung biologische Systeme für das Lösen technischer Probleme bereitstellen können und welche Unterschiede zwischen Problemlösung in biologischer Forschung und Produktentwicklung – und demnach in der Darstellung der daraus resultierenden Lösungen – auftreten können. Im Hinblick auf die Nutzung von Darstellungen biologischer Systeme in der Bionik wird ein kurzer Überblick über die Hauptquellen biologischer Information gegeben.

3.2.1 Begriffsklärung

Biologie ist die „Wissenschaft von der belebten Natur und den Gesetzmäßigkeiten im Ablauf des Lebens von Pflanze, Tier und Mensch“ (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.).

Biologische Forschung dient der Erforschung des Lebens in „verschiedenen Größenordnungen von Raum und Zeit“ (Campbell 2000) und dem Verstehen der diesem unterliegenden Strukturen und Zusammenhänge.

3.2.2 Biologische Systeme

Leben ist hierarchisch organisiert. Verschiedene Strukturebenen bauen aufeinander auf. Campbell (2000, S. 2–5) legt folgende biologische Strukturebenen fest:

- Molekül (aufgebaut aus Atomen)
- Organelle (aufgebaut aus Molekülen und Bestandteil von Zellen)
- Zelle (aufgebaut aus Molekülen bzw. Organellen)
- Gewebe (Zusammenschluss ähnlicher Zellen)
- Organ (spezifische Anordnung verschiedener Gewebe)

Organismen können aus einer einzelnen Zelle (Einzeller) oder aus vielen spezialisierten Zellen (Vielzeller) aufgebaut sein. Über einzelne Organismen hinausgehende Strukturebenen sind:

- Population (Gruppe von Organismen derselben Art, welche örtlich begrenzt ist)
- Biologische Gemeinschaft (Populationen verschiedener Arten, welche denselben Lebensraum haben)
- Ökosystem (Wechselwirkung einer biologischen Gemeinschaft mit der unbelebten Umwelt)

Je höher die Strukturebene in der Hierarchie, desto mehr Charakteristika besitzt diese resultierend aus den Wechselwirkungen ihrer Komponenten (Campbell 2000, S. 4).

Diese zu verstehen, ist die Herausforderung biologischer Forschung bzw. Problemlösung.

3.2.3 Biologische Forschung bzw. Problemlösung

Biologische Forschung besteht in großen Teilen aus Grundlagenforschung, d. h. „zweckfreie, nicht auf unmittelbare praktische Anwendung hin betriebene Forschung“ (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.).

Ein Problem (Kapitel 3.1.1) ergibt sich also möglicherweise nicht aus einem konkreten bestehenden Bedarf, sondern wird gesucht (Lamprecht 1999, S. 69).

Das Ziel biologischer Forschung bzw. Problemlösung ist, biologische Zusammenhänge zu verstehen. Die Lösung für ein Problem ist also nicht ein neues System, wie es in der Produktentwicklung der Fall sein kann, sondern das Verstehen eines existierenden Systems.

In der Produktentwicklung kann es bei der Entwicklung neuer Produkte während der Problemlösung sinnvoll sein, ein technisches Problem oder System zunächst zu abstrahieren und möglichst lösungsneutral zu beschreiben, um den Raum für alternative Lösungen zu öffnen. Gängig hierfür ist eine Zerlegung des Problems oder Systems durch dessen Beschreibung über seine Funktionen (Ponn und Lindemann 2011, S. 61) (Kapitel 3.1.2).

Ein biologisches System für dessen Verstehen und Beschreiben zu zerlegen, ist nur eingeschränkt sinnvoll. Laut Campbell (2000, S. 4) ist es zwar aussichtslos, ein kompliziertes biologisches System zu analysieren, ohne es zu zerlegen, ein zerlegtes biologisches System aber funktioniert nicht mehr, da „die Störung eines lebenden Systems die sinnvolle Erklärung seiner

Prozesse“ (Campbell 2000, S. 4) beschränkt. Ein Definieren von Schnittstellen zwischen Teilsystemen und damit von deren Vernetzung wie in der Technik ist in der Biologie nicht möglich.

Abgesehen von der Zerlegung eines biologischen Systems ist auch dessen lösungsneutrale Beschreibung nur bedingt zielführend. Demnach ist der Stellenwert, den Funktionen bei der Problemlösung in der Biologie einnehmen ein anderer als in der Produktentwicklung (Kapitel 3.1.2).

Funktionen wurden für die Biologie von Jeuken (1958, S. 45) folgendermaßen definiert: *„Eine biologische Funktion ist die Eigenschaft eines bestimmten Teiles des Organismus als Ganzes der eine bestimmte Form oder Struktur besitzt: diese Eigenschaft ist ihrerseits wirkliche oder mögliche Aktivität oder aber steht in einem direkten Verhältnis zu ihr; sie ermöglicht die harmonische Entwicklung und Erhaltung des Organismus als Ganzes.“*

Das Fehlen von Lösungsneutralität ist der Hauptunterschied zur Definition einer Funktion in der Technik. Die, eine Funktion ermöglichende, Form oder Struktur eines biologischen Systems, die bei technischen Systemen einer technischen Lösung entspricht, ist in der Biologie zu Beginn der Problemlösung bereits festgelegt. Sie bildet – als Pendant zur Funktion in der Produktentwicklung – den Ausgangspunkt für die Problemlösung in der Biologie (Jeuken 1958, S. 41).

Während Funktionen eines biologischen Systems nicht unabhängig von seiner Form untersucht werden können, können seine Formen ohne Fokus auf dessen Funktionen untersucht werden (Jeuken 1958, S. 41). Demzufolge fokussiert auch nicht jede Darstellung eines gelösten biologischen Problems (im Sinne verstandener biologischer Zusammenhänge) auf Funktionen bzw. enthält solche (Kapitel 5.1.1).

Das zwischen den Disziplinen unterschiedliche Verständnis von Funktionen sowie eine unterschiedliche Priorisierung derselben kann dann zu Schwierigkeiten führen, wenn in der Bionik zur Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme direkt in biologischen Informationsquellen auf Funktionen fokussiert wird oder sich die Suche auf Funktionen beschränkt.

Für das Verständnis einiger Ansätze zur Unterstützung der Vermeidung dieser Schwierigkeiten (Kapitel 3.4.3) sowie des Lösungsansatzes dieser Arbeit ist es hilfreich zu wissen, in welchen Quellen biologische Forschungsergebnisse bzw. Informationen dargestellt sein können und wo die Unterschiede zwischen den Quellen liegen.

3.2.4 Quellen biologischer Forschungsergebnisse bzw. Information

Biologische Forschungsergebnisse bzw. biologische Informationen können über folgende Quellen bezogen werden:

- Fachliteratur
- populärwissenschaftliches Text-, Ton-, Bild oder Filmmaterial

Für diese Arbeit relevant sind folgende Arten von Fachliteratur:

- wissenschaftliche Publikationen
- Lehrbücher

Fachliteratur ist definiert als „ein bestimmtes Fachgebiet behandelnde, besonders wissenschaftliche Literatur“ (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.).

Eine Publikation in seiner Grundbedeutung ist ein „publiziertes Werk“ (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.). Eine wissenschaftliche Publikation ist also ein veröffentlichtes wissenschaftliches Werk und das Ziel wissenschaftlicher Forschung. Im engsten Sinne legen wissenschaftliche Publikationen originale Forschungsergebnisse dar (Day und Gastel 2012, S. XV, 3). Wissenschaftliche Publikationen sind eine sehr umfassende und aktuelle Art der Fachliteratur und – in der Biologie – Quelle biologischer Forschungsergebnisse bzw. Information. Vor- und Nachteile dieser Quelle gegenüber nachfolgenden Quellen – allgemein und für die Bionik – sind in Kapitel 5.1.4 ausführlich diskutiert.

Ein Lehrbuch ist ein „für den Unterricht [...] bestimmtes Buch“ (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.). Es kann in ein bestimmtes Fachgebiet einführen (z. B. *Biologie* von Campbell (2000)) oder sehr spezielle Informationen zu diesem enthalten (z. B. *An Introduction to the Psychology of Hearing* von Moore, Brian C. J. (2004)). Ein Lehrbuch zur Einführung in die Biologie ist die Hauptquelle biologischer Information in dem *Natural Language Approach to Biomimetic Design* von Shu und Cheong (2014) (Kapitel 3.4).

Populärwissenschaftliches Text-, Ton-, Bild- und Filmmaterial ist wissenschaftliches Material, das in gemeinverständlicher Form dargeboten wird (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.). Dies können Zeitungsartikel, Radiobeiträge, Photographien oder Videos sein. In der Bionik wurden v. a. Photographien und Videos biologischer Systeme als biologische Informationsquelle genutzt (Kapitel 3.4).

3.3 Kurzeinführung in die Bionik

Dieses Kapitel klärt den Begriff Bionik und gibt einen kurzen Überblick über bionische Beispiele sowie Potentiale und Herausforderungen der Bionik.

3.3.1 Begriffsklärung

Die Herkunft des Begriffs Bionik ist unklar. Weder die verbreitete Annahme, der Begriff Bionik setze sich aus Anfangs- und Endsilben der Worte Biologie und Technik zusammen noch dessen Abstammung vom angelsächsischen *bionics* ist nachweisbar. *Bionics* ist auf den amerikanischen Luftwaffenmajor Steele zurückzuführen und ist weniger ein Kunstwort als eine Einstellung. Bereits bei seiner ersten Verwendung 1960 stand es für „eine völlig neue Sichtweise, die bei Ingenieuren und Biologen Mut zur Überschau ins andere Fachgebiet [...] fordert“ (Nachtigall 2002, S. 5).

Für die Bionik existieren verschiedene Definitionen. Für den deutschen Sprachraum wurde Bionik in jüngerer Zeit u. a. von Nachtigall (2002, S. 3) und dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (VDI 2012, S. 9–10) definiert. Eine Übersicht über deutsche und englische Definitionen des Begriffs Bionik beginnend bei 1960 geben Gleich et al. (2007, S. 15–17).

Für diese Arbeit ist folgender Teil einer Definition des VDI relevant, welche erfolgreiches bionisches Arbeiten charakterisiert als:

„kreatives Übertragen von Wissen und Anregungen aus der Biologie in die Technik, das heißt eine durch die Natur angeregte technische Entwicklung, die in Bezug auf den biologischen Ausgangspunkt in der Regel über mehrere Abstraktions- und Modifikationsschritte abläuft.“ (VDI 2012, S. 10).

Synonym für den Begriff Bionik wird im Deutschen der Begriff Biomimetik verwendet. Dieser entspricht dem im Angelsächsischen gebräuchlichen Begriff *biomimetics*, der dort synonym zu *bio-inspired* verwendet wird. Ferner finden die zu Bionik synonymen Begriffe Biomimikry und Biomimese Verwendung.

3.3.2 Beispiele, Potentiale und Herausforderungen

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über bionische Erfolgsbeispiele, Potentiale der Bionik und Herausforderungen bei der Anwendung von Bionik.

VELCRO® ist eine der großen Erfolgsgeschichten der Bionik. Von der Inspiration im Jahr 1941– der Klette, auf die der Schweizer Ingenieur George de Mestral über seinen Hund stieß – über seine Erfindung bis heute ist der Haken- und Flauschverschluss (auch Klettverschluss) vielseitig und vielfach eingesetzt. Die Velcro Unternehmensgruppe ist führender Hersteller des Haken- und Flauschverschlusses und inzwischen in über 40 Ländern präsent (Fa. Velcro GmbH 2015).

Die Blätter der Lotosblume sowie die Haut des Haifisches inspirierten zu bionischen Produkten u. a. der Unternehmen Volvo und Sto AG sowie Speedo und Airbus Deutschland GmbH, (Gleich et al. 2007, S. 106–110). Weitere existierende und vielversprechende bionische Produkte und Produktideen beschreiben u. a. Dickinson (1999) und Nachtigall (2002).

Das größte Potential der Bionik liegt in deren Nutzung als Kreativitätsmethode (Kapitel 3.1.3), aus welcher, wie bei anderen Kreativitätsmethoden, innovative Lösungsideen entstehen können, aber nicht müssen. Bionik muss auch nicht für jede Problemstellung gleichermaßen gut geeignet sein. Es ist von Fall zu Fall zu entscheiden, ob ihre Anwendung einen Nutzen stiften kann oder nicht (Nachtigall 2002, S. 10).

Herausforderungen bei der Anwendung von Bionik, das Vordringen der Bionik in Unternehmen und ihr Erfolg als Innovationsauslöser sind vielfältig und hängen teilweise stark zusammen. Nach Gleich et al. (2007, S. 202–206 und Oertel und Grunwald (2006, S. 132) sind diese Herausforderungen u. a.:

- wenig oder kein Wissen über bzw. Erfahrung mit bionischer Problemlösung seitens potentieller Anwender
- Unterschätzung des Potentials von Bionik und Skepsis bei Investitionen in Bionikprojekte seitens der Industrie

Der ersten Herausforderung nahm sich die Wissenschaft über verschiedene Wege an. Mit dem Ziel, potentielle Anwender darin zu unterstützen, biologische Lösungen für technische Probleme zu finden bzw. diese in die Technik zu übertragen, wurde eine Vielzahl Ansätze entwickelt.

Die meisten Ansätze unterstützen die *Top Down*-Bionik (Shu und Cheong 2014, S. 31). Bionische Lösungen werden hier ausgehend von einem technischen Problem über eine Suche und Übertragung biologischer Lösungen entwickelt (Helms et al. 2009). Für die *Bottom-Up*-Bionik wurden bisher nur wenige Ansätze entwickelt (Shu und Cheong 2014, S. 31). Hier werden bionische Lösungen entwickelt, indem ausgehend von biologischen Lösungen technische Probleme gesucht werden, die durch diese zu lösen sind (Helms et al. 2009).

3.4 Lösungssuche in der Bionik

Dieses Kapitel fokussiert auf Ansätze bzw. Aspekte der Ansätze, die in der *Top Down*-Bionik dabei unterstützen, biologische Lösungen für technische Probleme zu suchen und zu finden¹⁰ (Kapitel 1). Sie können grob unterteilt werden in bionische Datenbasen bzw. Ansätze zur Nutzung derselben, Ansätze zur direkten Nutzung biologischer Informationsquellen und Übergangsformen. Die Zweckdienlichkeit aller im Folgenden aufgeführten Datenbasen und Ansätze wurde von deren Entwicklern mindestens beispielhaft gezeigt.

Am Ende jedes der folgenden Unterkapitel werden die beschriebenen Datenbasen und Ansätze in einer Tabelle zusammengefasst. In den Tabellen werden die für die Entwicklung des initialen Lösungsansatzes dieser Arbeit relevanten und potentiell übertragbaren Aspekte der jeweiligen Datenbasen und Ansätze gezeigt. Dies sind die Aspekte technischer und biologischer Systeme, deren Betrachtung bei der Lösungssuche in der Bionik von den jeweiligen Datenbasen und Ansätzen in Form von Suchworten, Suchbegriffen oder Modellen empfohlen bzw. unterstützt werden. Für eine Entscheidung über eine Übertragbarkeit dieser auf den initialen Lösungsansatz ist zusätzlich die von den Ansätzen genutzte biologische Informationsquelle (Lehrbuch, biologische Publikation, etc.) relevant. Bei Datenbasen stellen diese die Datenbasen selbst dar.

3.4.1 Bionische Datenbasen und Ansätze zu deren Nutzung

Nachfolgend aufgeführte bionische Datenbasen und Ansätze zur Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik sind software- oder papierbasierte Quellen ausgewählter biologischer und technischer (teils bionischer) Systeme.

AskNature (The Biomimicry Institute o. J.) ist laut eigener Aussage der weltweit umfassendste Online-Katalog von Lösungen für technische Probleme aus Natur und – in geringerem Maße – Technik. Die in *AskNature* enthaltene Information ist allgemeinverständlich aufbereitet und gemäß der *Biomimicry Taxonomy*¹¹ über Funktionen katalogisiert (Deldin und Schuknecht 2014, S. 17–18). Der Nutzer von *AskNature* kann online entweder über Funktionen der *Biomimicry Taxonomy* Informationen zu natürlichen bzw. technischen Systemen finden oder nach solchen über frei wählbare Suchworte suchen. Ein Vorgehen zur Nutzung von *AskNature* wird über die Seite *Using AskNature*¹² bereitgestellt (The Biomimicry Institute o. J.).

¹⁰ Ein Großteil der beschriebenen Ansätze unterstützt neben der Analogiensuche auch das Verstehen und Übertragen von Analogien.

¹¹ Eine Übersicht über die Biomimicry Taxonomy ist in Deldin und Schuknecht (2014, S. 20) zu finden.

¹² http://www.asknature.org/article/view/using_asknature

IDEA-INSPIRE ist eine in Software umgesetzte Datenbasis mit Informationen über biologische und technische Systeme. Die Informationen sind in Form von *FBS (Function-Behaviour-Structure)*-Modellen¹³ und *SAPPhIRE*-Modellen¹⁴ hinterlegt und repräsentiert. Der Nutzer kann in *IDEA-INSPIRE* mit einer Beschreibung seines Problems über die Bausteine des *FBS*- bzw. *SAPPhIRE*-Modells nach Lösungen für dieses suchen. Unterstützung bei der Problembeschreibung erhält der Nutzer über die Benutzeroberfläche der Software (Chakrabarti et al. 2005; Sarkar et al. 2008).

DANE (Design Intelligence Lab - Georgia Institute of Technology o. J.; Vattam et al. 2011) ist eine weitere, in Software umgesetzte, modellbasierte Datenbasis technischer und biologischer Systeme. Die Systeme sind in Form von *SBF (Structure-Behaviour-Function)*-Modellen¹⁵ hinterlegt und repräsentiert. Funktionen – Subjekte (z. B. Flamingo) und bzw. oder Verben (z. B. filtriert) – dienen der Analogiensuche und der Vernetzung verschiedener Systeme. Lehrvideos (*Learning SBF*¹⁶) auf (Design Intelligence Lab - Georgia Institute of Technology o. J.) führen den Nutzer in die *SBF*-Modellierungstechnik ein. Ein Benutzerhandbuch (*User Guide*¹⁷) erklärt die Nutzung von *DANE*.

Biologue (Vattam und Goel 2011) ist eine Online-Umgebung zur Online-Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme. Der Nutzer kann in *Biologue* biologische Informationsquellen hinterlegen, ein *SBF*-Modell (vgl. *DANE*) der Information erstellen, dieses an die Quelle anhängen und die Information so mit anderen Nutzern teilen. In *Biologue* kann frei oder über die Bausteine des *SBF*-Modells nach markierten biologischen Lösungen oder *SBF*-Modellen der biologischen Lösungen gesucht werden. Über die Benutzeroberfläche von *Biologue* erhält der Nutzer Unterstützung bei der Suche.

In der ontologiebasierten Datenbasis von Wilson et al. (2009) sind Strategien technischer und biologischer Systeme zur Lösung technischer Probleme hinterlegt¹⁸. Strategien können über Stoff-, Energie- und Signalumsätze (*Flows: Input, Output*), Funktionen (*Behaviour: Action, Attribute*) oder Systeme bzw. Systemkomponenten (*Structure*) gesucht werden. Ein Leitfaden führt den Nutzer durch die Lösungssuche.

Die in Software umgesetzte bionische Lösungssammlung von Löffler (2008, S. 83-95, 173-180) katalogisiert Lösungsprinzipien aus Biologie und Technik (z. B. *Sensorik*). Die kleinsten Informationseinheiten der Datenbasis sind Objekteinträge (z. B. *Echoortung der Fledermaus*). Diese beinhalten u. a. *Allgemeine Größen* (z. B. *Information*) sowie *Allgemeine Operationen* (z. B. *wandeln*), welche zusammen *Allgemeine Funktionen* ergeben. Nach Lösungen für ein

¹³ Eine Herleitung des *FBS*-Modells ist Chakrabarti et al. (2005, S. 114–117) zu entnehmen.

¹⁴ Eine Beschreibung des *SAPPhIRE*-Modells findet sich unter Chakrabarti et al. (2005, S. 117–118) und Srinivasan und Chakrabarti (2009).

¹⁵ Eine Beschreibung des *SBF*-Modells findet sich unter u. a. in Goel et al. (2009).

¹⁶ <http://dilab.cc.gatech.edu/dane/>

¹⁷ <http://dilab.cc.gatech.edu/dane/files/DANE%20%20Users%20Guide.pdf>

¹⁸ Der Aufbau der, der Datenbasis zugrundeliegenden, Ontologie ist Wilson et al. (2009, S. 800–804) zu entnehmen.

technisches Problem kann der Nutzer über solche *Allgemeinen Funktionen* oder frei suchen. Die Datenbasis unterstützt in dem von Löffler (2008, S. 50) vorgeschlagenen bionischen Vorgehen den Schritt der Analogiebildung, ein detailliertes Vorgehen im Umgang mit der Datenbasis wird nicht vorgeschlagen.

Die *BioTRIZ*-Matrix (Vincent et al. 2006) ist eine auf *TRIZ* (Kapitel 3.1.3) bzw. *PRIZM* basierende Datenbasis biologischer Lösungen für technische Probleme¹⁹. Biologische Lösungen werden über sich aus einem technischen Problem ergebende Widersprüche gesucht. Technische Widersprüche aus der *TRIZ*-Matrix führen entweder über funktionale Analogien (*PRIZM*-Matrix) oder direkt über die *BioTRIZ*-Matrix zu biologischen Lösungen. Der Nutzer von *BioTRIZ* wird über die Schritte eins und zwei der Problemlösungssequenz in Vincent et al. (2006, S. 479) bei der Suche unterstützt.

Hill (1997, S. 107–221) stellt in Form von Lösungsfindungskatalogen – Grundfunktions- und Prinzipienkataloge – biologische und technische Lösungen für technische Probleme bereit. Die Inhalte der Grundfunktionskataloge sind katalogisiert nach fünf Grundfunktionen (*Speichern/ Sperren, Verbinden/ Trennen, Formen, Stützen/ Tragen, Übertragen*) und drei Umsatzarten (*Stoff, Energie, Information*). Die Inhalte der Prinzipienkataloge sind nicht einheitlich katalogisiert. *Orientierungsmodelle* unterstützen die Nutzung der Kataloge.

Gramann (2004, S. 109-111, 132-146) stellt biologische Systeme (z. B. *Insektenflügel*) in einer *Assoziationsliste* über zwei Funktionsebenen (z. B. *verformen* (Ebene eins) und *glätten* (Ebene zwei)) sowie dazugehörige Objekte, Felder und Parameter (z. B. *Feststoffelemente*) bereit. In dem von Gramann (2004, S. 98) entwickelten *Bionischen Vorgehenszyklus* unterstützt die *Assoziationsliste* bei der *Zuordnung biologischer Systeme* zu einem *Suchziel* – formuliert in Form technischer Funktionen.

Ungeachtet ihrer Eignung für die Bionik haben die aufgeführten bionischen Datenbasen folgende Nachteile:

- Aufbau und Gewährleistung von Aktualität sind mit hohem Zeitaufwand verbunden. Aktualität zu gewährleisten, ist angesichts der rapiden Zunahme neuer veröffentlichter v. a. biologischer Erkenntnisse (Rebholz-Schuhman et al. 2005) kaum umsetzbar.
- Auswahl und Editieren der hinterlegten Information durch die Entwickler der Datenbasen schränken den Raum verfügbarer biologischer oder technischer Lösungen bzw. Lösungsdetails ein und prägen diesen. Die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung innovativer Lösungen durch den Nutzer sinkt (Kapitel 5.1.4). Schlimmstenfalls wurden die entwickelten Lösungen bereits vorgedacht.

Letztgenannter Nachteil ist auch der Hauptgrund für die für diese Arbeit getroffene Entscheidung gegen die Nutzung von bionischen Datenbasen als Quelle biologischer Information.

¹⁹ Eine Beschreibung der den Matrizen *PRIZM* und *BioTRIZ* zugrundeliegenden Systematiken ist Vincent et al. (2006) zu entnehmen.

Trotzdem geben die in vorgestellten Datenbasen und Ansätzen für die Analogiensuche unterstützten Aspekte technischer und biologischer Systeme²⁰ Aufschluss darüber, welche Aspekte sich für eine Lösungssuche in der Bionik in Datenbasen – und möglicherweise auch anderen Quellen biologischer Information – eignen.

Einen Überblick über diese Aspekte gibt Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1: Übersicht über die in vorgestellten Datenbasen und Ansätzen zur Analogiensuche nutzbaren Aspekte technischer und biologischer Systeme; ● steht für unterstützt, ◐ für teilweise unterstützt

| Datenbasis – Ansatz zur Nutzung | unterstützte Aspekte technischer und biologischer Systeme | | | |
|--|---|---|---|---|
| | Funktion | Behaviour (FBS-/ SBF-, SAPPPhIRE-Modell), analoger Aspekt | Structure (FBS-/ SBF-Modell), analoger Aspekt | Andere |
| AskNature – Using AskNature | ● | | | |
| IDEA-INSPIRE – IDEA-INSPIRE | ● | ● | ● | |
| DANE – Learning SBF, User Guide | ● | | | |
| Biologue – Biologue | ● | ● | ● | |
| Ontologie Wilson – Leitfaden | ● | ● | ● | |
| Lösungssammlung Löffler – nicht vorhanden | ● | ◐ (Allgemeine Größen) | | |
| BioTRIZ – Problemlösungssequenz | ● | | | TRIZ-Matrix technischer Widersprüche |
| Kataloge Hill – Orientierungsmodelle | ● | ◐ (Stoff-, Energie-, Informationsumsatz) | | Prinzipien, Effekte von Systemen |
| Assoziationsliste Gramann – Bionischer Vorgehenszyklus | ● | | | |

Tabelle 3-1 zeigt, dass Funktionen technischer bzw. biologischer Systeme eine wichtige Rolle bei der Suche nach Analogien zwischen Technik und Biologie in Datenbasen spielen. Sie sind der einzige Aspekt, der in allen Datenbasen für die Analogiensuche nutzbar ist.

Die Relevanz von Funktionen sowie der übrigen in Tabelle 3-1 aufgeführten Aspekte für den Lösungsansatz dieser Arbeit wird in Kapitel 5.1 diskutiert.

3.4.2 Ansätze zur automatischen Erschließung bionisch relevanter Information

Die nachfolgend aufgeführten Ansätze unterstützen die Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme an der Schnittstelle zwischen Datenbasen und der direkten Nutzung biologischer Informationsquellen, indem sie entweder automatisch bionisch relevante biologische Information sammeln oder biologische Information automatisch nach bionisch relevanter Information durchsuchen.

Ein in der Demoversion online verfügbares bionisches Suchwerkzeug ist *BIOPS* (Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO o. J.). *BIOPS* ist ein mit statistischen und

²⁰ Aspekte biologischer oder technischer Systeme, die in einer Datenbasis zwar hinterlegt sind, aber nicht der Suche bzw. Zuordnung analoger Systeme dienen, werden hier nicht betrachtet.

linguistischen Verfahren automatisch erstelltes Technik-Biologie-Wörterbuch. Zu frei wählbaren Suchworten zu einem technischen Problem werden Begriffe aus Technik und Biologie ausgegeben, für welche jeweils Internetseiten (u. a. *AskNature*) mit weiterführender Information oder Literatur hinterlegt sind. Die *BIOPS* zugrundeliegende Logik wird nicht beschrieben. Aus den verfügbaren Informationen geht ebenfalls nicht hervor, ob eine automatische Weiterentwicklung und Aktualisierung des Suchwerkzeugs realisiert ist.

Mit *SEABIRD* bieten Vandevenne et al. (2015b) einen Bionikansatz, der u. a. die Suche nach Analogien zwischen technischer und biologischer Information automatisiert. Ausgangspunkt für die automatische Suche ist die Formulierung des technischen Problems, für welches eine biologische Lösung gesucht wird, in Form von *Product Aspects*. *Product Aspects* werden aus Patenten extrahiert und, aus biologischen Publikationen extrahierten, *Organism Aspects* zugeordnet. Der Nutzer kann diese frei oder über Produkte suchen und auswählen²¹.

Vandevenne et al. (2013) entwickelten einen *Webcrawler* zur kontinuierlichen Suche nach Strategien biologischer Systeme im Internet. Der *Webcrawler* bietet die Möglichkeit eines automatischen Aufbaus sowie einer automatischen Aktualisierung einer bionischen Datenbasis²². Über einen unabhängig von dem *Webcrawler* entwickelten Algorithmus können die, von diesem gesammelten, Strategien biologischer Systeme automatisch in die *Biomimicry Taxonomy* der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Datenbasis *AskNature* eingeordnet werden (Vandevenne et al. 2012, 2015a) und dort über Funktionen gesucht werden.

Analog zu Tabelle 3-1 zeigt Tabelle 3-2 die in genannten Ansätzen zur Analogiensuche unterstützten Aspekte technischer und biologischer Systeme sowie die Hauptquellen der referenzierbaren bzw. zur Verfügung gestellten biologischen Information.

Tabelle 3-2: Übersicht über die in vorgestellten Ansätzen zur Analogiensuche unterstützten Aspekte technischer und biologischer Systeme und die betrachteten biologischen Informationsquellen; ● steht für unterstützt, ◐ für teilweise unterstützt

| Ansatz | unterstützte Aspekte technischer und biologischer Systeme | | Biologische Informationsquelle |
|---|---|--------------------------------|--|
| | Funktion | Andere | |
| <i>BIOPS</i> | nicht definiert | | Internet |
| <i>SEABIRD</i> | ◐ | weitere <i>Product Aspects</i> | <i>Journal of Experimental Biology</i> |
| <i>Webcrawler</i> plus Algorithmus Vandevenne als <i>AskNature</i> -Erweiterung | ● | | Internet |

Im Vergleich zu den in Kapitel 3.4.1 dargestellten Ansätzen spielen Funktionen eine geringere Rolle. Bei *BIOPS* und *SEABIRD* werden keine speziellen Aspekte technischer oder biologischer Systeme unterstützt und im Falle des *Webcrawlers* ist die Funktion – der bislang unterstützte Aspekt – von *AskNature* vorgegeben.

Obwohl der Hauptvorteil der vorgestellten Ansätze die Bereitstellung skalierbarer Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik ist, gleichen diese die in Kapitel 3.4.1 genannten Nachteile bionischer Datenbasen nur partiell aus:

²¹ Details zu *SEABIRD*, *Product Aspects* und *Organism Aspects* sind Vandevenne et al. (2015b) zu entnehmen.

²² Die dem *Webcrawler* zugrundeliegende Logik ist Vandevenne et al. (2013) zu entnehmen.

- Durch Automatisierung – bzw. bei *SEABIRD* eine gegebene Anwendbarkeit auf andere, umfangreichere Informationsquellen – sind alle Ansätze potentiell in der Lage das Problem des Zeitaufwands für Aufbau und Aktualisierung bionischer Datenbasen zu lösen.
- Es bleibt der Nachteil der Prägung der gesammelten Information durch die von den Entwicklern der Ansätze verwendeten Automatisierungsalgorithmen für Auswahl und Editieren der Information.

Eine Möglichkeit, auch diesen Nachteil auszugleichen ist, eine Suche nach technischen Lösungen für technische Probleme direkt in verfügbaren biologischen Informationsquellen zu unterstützen.

3.4.3 Ansätze zur direkten Nutzung biologischer Informationsquellen

Ansätze zur direkten Nutzung biologischer Informationsquellen können die Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in den in Kapitel 3.2.4 aufgeführten Quellen unterstützen.

Der umfassendste Ansatz zur Unterstützung der Nutzung biologischer Informationsquellen für die Bionik ist der *Natural Language Approach to Biomimetic Design* von Shu und Cheong (2014) an der *University of Toronto*. Die Suche nach biologischen Analogien für technische Probleme wird hauptsächlich über Ansätze zur Suchwortgenerierung unterstützt.

Bezüglich der Art der für die Analogiensuche zu verwendenden Suchworte betont der Ansatz die gute Eignung von Verben zur Beschreibung der gewünschten Funktionen des zu lösenden technischen Problems bzw. zu entwickelnden technischen Systems (Shu und Cheong 2014, S. 36). Erste Hinweise auf die Eignung von Adjektiven, welche gewünschte technische Eigenschaften beschreiben, lieferte Ke et al. (2010). Eine Suche mit Substantiven wird kritisch betrachtet (Kapitel 5.1.2).

Um mögliche disziplinspezifische Sprachunterschiede zwischen Ingenieuren und Biologen auszugleichen und die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, für das Lösen technischer Probleme geeignete biologische Analogien zu finden, wurden an der *University of Toronto* zwei Ansätze verfolgt. Ein erfolgreicher Ansatz war, mit zu generierten Suchworten gebildeten Synonymen, Troponymen, Hyperonymen und Antonymen in der Biologie zu suchen (Shu und Cheong 2014, S. 35, 51; Chiu und Shu 2004; Vakili und Shu 2001). Der zweite erfolgreiche Ansatz war, die Entwicklung einer Methode, die es dem Nutzer derselben ermöglicht, auf Basis technischer Funktionen *biologically meaningful keywords* (biologisch bedeutsame Suchworte) aus biologischen Texten zu extrahieren (Chiu und Shu 2005, 2007). Sie wurde u. a. von Cheong et al. (2008) und Cheong et al. (2011) genutzt, um *biologically meaningful keywords* für technische Funktionen aus der von Stone und Wood (2000) entwickelten *Functional Basis* zu definieren. Auf Basis der durch die Nutzung der Methode gewonnenen Erkenntnisse entwickelten Cheong und Shu (2012) einen Algorithmus zur automatischen Extraktion von Funktionen mit kausalem Zusammenhang in biologischen Texten.

Als biologische Informationsquelle für Entwicklung und Evaluation des *Natural Language Approach to Biomimetic Design* diente ein Lehrbuch zur Einführung in die Biologie (Purves

2001). An der *University of Toronto* wurde ein Suchwerkzeug zur freien, suchwortbasierten Analogiensuche in diesem entwickelt (Shu und Cheong 2014).

Mit dem Ziel zwischen Technik und Biologie zu vermitteln, entwickelten Stroble et al. (2009b) basierend auf der *Functional Basis* von Stone und Wood (2000) und einem Biologiebuch ein *Engineering-to-Biology Thesaurus*. Der Thesaurus listet biologische Pendanten zu Worten, welche Funktionen und Umsätze (Material, Signal, Energie) technischer Systeme beschreiben. Eine Nutzung der Pendanten kann u. a. die Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme effektivieren. Eine zweite Version des Thesaurus schließt biologische Pendanten aus *IDEA-INSPIRE* (Kapitel 3.4.1) und die *biological meaningful keywords* von Cheong et al. (2008) ein (Nagel et al. 2010).

Stroble et al. (2009a) entwickelten ein Suchwerkzeug zur automatischen Nutzung des *Engineering-to-Biology Thesaurus*. Die zu durchsuchende biologische Informationsquelle ist frei wählbar. Biologische Lösungen für technische Probleme kann der Nutzer funktions- und umsatzbasiert suchen.

Unterstützung bei der Formulierung eines technischen Problems bietet die *Four-Box Method* von Helms und Goel (2014). Die *Four-Box Method* besteht aus den „Boxen“ *Operational Environment, Function, Specifications* und *Performance Criteria*²³. Jeder dieser „Boxen“ werden Aspekte des betrachteten technischen Problems zugeordnet, mit welchen dann in biologischen Informationsquellen nach Lösungen für dieses gesucht wird. Die Methode basiert auf Analysen von studentischen Problemstellungen aus interdisziplinären (Maschinenwesen, Biologie) Bionikveranstaltungen zur Entwicklung bionischer Lösungen. Diese dienen auch ihrer Evaluation (Yen et al. 2014). Inwieweit die *Four-Box Method* speziell Ingenieuren bei der Analogiensuche hilft, wurde nicht untersucht.

Eine Unterstützung von Ingenieuren u. a. bei der Suche nach biologischen Analogien für technische Probleme in biologischen Informationsquellen bietet die *Biomimetic Design Methodology* von Lenau (2009). Im Schritt *Search* werden ausgehend von einer Problemstellung Suchworte zu gewünschten Funktionen des zu entwickelnden technischen Systems generiert. Diesen werden biologische Pendanten zugeordnet. Wie genau diese Zuordnung erfolgt, wird in der Methode nicht spezifiziert. Die Suche analoger biologischer Systeme erfolgt mit technischen und biologischen Suchworten.

Die genannten Ansätze zur direkten Nutzung biologischer Informationsquellen gleichen beide der in Kapitel 3.4.1 genannten Nachteile bionischer Datenbanken aus. Durch die Unterstützung der Nutzung jeglicher, verfügbarer biologischer Informationsquelle ist der ergründbare Lösungsraum so aktuell, offen und unbeeinflusst wie möglich.

Eine Beeinflussung des Lösungsraums findet erst während der Suche durch die Wahl der Suchworte hauptsächlich durch den Suchenden selbst statt. Trotz der in den Ansätzen empfohlenen Suchwortarten oder vorgeschlagenen Suchworten zur Steigerung der Effektivität der Analogiensuche ist der Nutzer frei in der Wahl der Worte zur Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme. Eine Ausnahme ist das Suchwerkzeug von Stroble et al. (2009a).

²³ Eine Erklärung der „Boxen“ findet sich in Helms und Goel (2014, S. 111106-6).

Tabelle 3-3 zeigt die in den genannten Ansätzen zur Analogiensuche direkt in biologischen Informationsquellen empfohlenen bzw. unterstützten nutzbaren Aspekte technischer und biologischer Systeme sowie die zur Ansatzentwicklung bzw. Evaluation genutzten biologischen Quellen. Sie zeigt zusätzlich welche der Ansätze über „Brückenworte“ Unterstützung bei der Überbrückung disziplinspezifischer Sprachunterschiede bieten.

Tabelle 3-3: Übersicht über die in vorgestellten Ansätzen zur Analogiensuche empfohlenen oder unterstützten Aspekte technischer und biologischer Systeme, die „Brückenworte“ und die betrachteten biologischen Informationsquellen; ● steht für unterstützt, ◐ für teilweise unterstützt

| Ansatz (inklusive Suchwerkzeug) | empfohlene bzw. unterstützte Aspekte technischer und biologischer Systeme | | | | unterstützte „Brückenworte“ | Biologische Informationsquelle |
|---|---|---------------------|--------|--|---|---|
| | Funktion | Eigenschaft | Umwelt | andere | | |
| <i>Natural Language Approach</i> | ● Verben | ◐ Adjektive | | | ● für Funktionen | Lehrbuch zur Einführung in die Biologie |
| <i>Engineering-to-Biology Thesaurus</i> | ● | | | Material-, Signal-, Energieumsatz | ● für Funktionen, Umsätze | nicht spezifiziert |
| <i>Four-Box-Method</i> | ● | ◐ von Funktionen | ● | <i>Specifications</i> | abgedeckt durch interdisziplinäre Teams | nicht spezifiziert |
| <i>Biomimetic Design Methodology</i> | ● | | | mit Funktionen assoziierte biologische Worte | | nicht spezifiziert |

Wie im Falle der bionischen Datenbasen und der dazugehörigen Ansätze favorisieren bzw. unterstützen alle hier vorgestellten Ansätze die Nutzung von Funktionen für die Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Informationsquellen. Zu diesen werden in zwei Fällen „Brückenworte“ zur Überbrückung disziplinspezifischer Sprachunterschiede zur Verfügung gestellt. Zusätzlich zu Funktionen werden Aspekte technischer und biologischer Systeme unterstützt, welche teilweise auch über die von den Datenbasen und Ansätzen aus den Kapiteln 3.4.1 und 3.4.2 unterstützten Aspekte abgedeckt werden – Eigenschaft, Umwelt und Umsatz.

3.4.4 Zusammenfassung der vorgestellten Datenbasen und Ansätze

Dieses Kapitel gibt eine Zusammenfassung der in den vorherigen Kapiteln vorgestellten, für die Lösungssuche in der Bionik unterstützten Aspekte technischer und biologischer Systeme. Ausgangspunkt sind die dazugehörigen biologischen Informationsquellen. Im Falle der Datenbasen sind dies die editierten Einträge in diesen oder, wenn solche nicht existieren, die hinterlegten Referenzen.

Tabelle 3-4 macht deutlich, dass in nur einem Fall (*SEABIRD* – Kapitel 3.4.2) auf biologische Publikationen (aus dem *Journal of Experimental Biology*) fokussiert wurde – allerdings nicht für eine direkte Suche in biologischen Informationsquellen, sondern für eine indirekte, d. h. von *SEABIRD* durch eine Vorverarbeitung der biologischen Publikationen geprägte, automatische Suche.

Kein Ansatz unterstützt eine direkte Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in speziell biologischen Publikationen. Dies bestätigt das in Kapitel 1.1.3 genannte Problem, dass kein auf Ingenieure zugeschnittenes Vorgehen zur eigenständigen Nutzung biologischer Publikationen zur Lösungssuche in der Bionik existiert. Demnach bleibt auch die Frage

offen, welche Aspekte technischer und biologischer Systeme bzw. Suchworte für eine Suche speziell in biologischen Publikationen geeignet sind.

Tabelle 3-4: Zusammenfassung der in Bionikdatenbasen und -ansätzen für eine Analogiensuche betrachteten biologischen Informationsquellen, Aspekte technischer und biologischer Systeme und „Brückenworte“; ● steht für unterstützt, ◐ für teilweise unterstützt; die Anzahl der Symbole entspricht der Häufigkeit der Verwendung der Aspekte bzw. „Brückenworte“

| Biologische Informationsquelle | empfohlene bzw. unterstützte Aspekte technischer und biologischer Systeme | | | | | unterstützte „Brückenworte“ |
|---|---|--|-----------------------------|---------|--|-----------------------------|
| | Funktion | Eigenschaft | Umwelt | Umsätze | andere | |
| Edierte Datenbasiseinträge | ●●●●● ●●●●● | ●●●● (FBS-/ SBF-, SAPPPhIRE- Modell) | ● (SAPPPhIRE- Modell) | ●● | ● TRIZ-Matrix technischer Widersprüche ● Prinzipien ● Effekte | |
| Referenzen aus dem Internet | ● | | | | | |
| <i>Journal of Experimental Biology</i> | ◐ | ◐ | ◐ | ◐ | ● weitere <i>Product Aspects</i> | |
| Lehrbuch zur Einführung in die Biologie | ● | ◐ | | | | ● |
| nicht spezifiziert | ●●● | ◐ | ● | ● | ● <i>Specifications</i> ● mit Funktionen assoziierte biologische Worte | ●● |

Unabhängig von einer Spezialisierung auf biologische Publikationen finden sich in den betrachteten Ansätzen eine Reihe geeigneter Aspekte technischer und biologischer Systeme, die als Suchworte für eine Suche nach Analogien zwischen Technik und Biologie direkt in biologischen Informationsquellen in Frage kommen. Besonders interessant können hier die Ansätze mit nicht spezifizierter Informationsquelle sein, diese schließen biologische Publikationen möglicherweise ein.

Zusätzlich weisen Ansätze zur Unterstützung einer Lösungssuche direkt in biologischen Informationsquellen darauf hin, dass „Brückenworte“, also Variationen generierter Suchworte, von Vorteil oder notwendig sein können, um die Suche effektiv zu gestalten, also viele für das Lösen des betrachteten technischen Problems geeignete biologische Lösungen zu finden.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Datenbasen und Ansätze bieten Anknüpfungspunkte für weitere Untersuchungen und bilden die Basis für die in folgendem Kapitel dargelegten Teilforschungsfragen.

4. Teilforschungsfragen

Dieses Kapitel legt die Teilforschungsfragen für die in dieser Arbeit durchgeführte Untersuchung dar. Die Teilforschungsfragen zielen darauf ab, die folgenden offenen Punkte zu klären: die Art der Suchworte, die für eine Suche nach Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen geeignet sind und der Umgang mit biologischen Publikationen während der Lösungssuche in der Bionik.

Die Teilforschungsfragen spezifizieren gemäß Creswell (2013, S. 140) die Untersuchungsfaktoren der zentralen Forschungsfrage „*Wie kann ein strukturiertes Vorgehen aussehen, das Ingenieure dabei unterstützt, eigenständig biologische Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen zu suchen und zu finden?*“.

Für die in Kapitel 6 dargelegte qualitative Studie ergeben sich folgende Teilforschungsfragen:

1. *Mit welcher Art von Suchworten finden Ingenieure biologische Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen?*
2. *Inwieweit helfen Suchwortvariationen Ingenieuren, biologische Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen zu finden?*
3. *Wie gehen Ingenieure bei der Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen vor und wie handhaben sie Vorteile und Herausforderungen?*

Analog zur zentralen Forschungsfrage werden auch hier keine Hypothesen aufgestellt.

Für das in Kapitel 7 dargelegte quantitative Fokusexperiment lautet die Teilforschungsfrage:

Ergeben Suchworte, generiert von Ingenieuren, in einer Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen in PubMed²⁴ mehr unterschiedliche Publikationen, wenn Suchworte der Suchwortarten Funktion, Eigenschaft und Umwelt²⁵ oder wenn nur Suchworte der Suchwortart Funktion genutzt werden?

Die dazugehörige Nullhypothese ist:

Die Anzahl der aus einer PubMed-Suche resultierenden unterschiedlichen biologischen Publikationen unterscheidet sich nicht, egal, ob mit, von Ingenieuren generierten, Suchworten der Suchwortarten Funktion, Eigenschaft und Umwelt oder nur mit Suchworten der Suchwortart Funktion gesucht wird.

Die zentrale Forschungsfrage sowie die Teilforschungsfragen bilden das Gerüst für die Inhalte folgender Kapitel.

²⁴ PubMed ist die für diese Arbeit relevante Bezugsquelle biologischer Publikationen. Erklärungen zu PubMed finden sich in Kapitel 5.1.

²⁵ Erklärungen zu den Suchwortarten finden sich in Kapitel 5.1.

5. Initialer Lösungsansatz – *BIOscrabble*

Dieses Kapitel illustriert den initialen Lösungsansatz *BIOscrabble* sowie dessen Entwicklung. *BIOscrabble* stellt eine Möglichkeit dar, im Bereich Bionik unerfahrene Ingenieure bei der Suche nach biologischen Lösungen für ein gegebenes technisches Problem in biologischen Publikationen in ihrem Vorgehen zu unterstützen.

Die Entwicklung und Illustration von *BIOscrabble* wurde in Teilen bereits in Kaiser et al. (2013, 2014, 2012) und Helms et al. (im Druck (geplant 2016)) veröffentlicht.

5.1 Entwicklung von *BIOscrabble*

Die Entwicklung von *BIOscrabble* basiert auf der Analyse des Stands der Forschung im Bereich Bionik – insbesondere der Lösungssuche in der Bionik (Kapitel 3.4) – sowie dem für die Entwicklung relevanten Fallbeispiel Spinnseide an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Biologie.

Ziel der Entwicklung ist es, mit *BIOscrabble* ein mögliches strukturiertes Vorgehen vorzuschlagen, das Ingenieure dabei unterstützt, eigenständig biologische Lösungen für technische Probleme direkt in biologischen Publikationen zu suchen und zu finden. Das Vorgehen bildet den Ausgangspunkt für die Beantwortung der zentralen Forschungsfrage (Kapitel 2.1) sowie der Teilforschungsfragen (Kapitel 4). Die in den Teilforschungsfragen 1 und 2 adressierten Aspekte einer Lösungssuche in der Bionik fokussieren die Entwicklung von *BIOscrabble* – zusätzlich zu der bereits auf biologische Publikationen festgelegten Art der Suchquelle (*BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen*) – auf mögliche Arten zu nutzender Suchworte (*BIOscrabble*-Baustein *Suchwortarten*) sowie mögliche Arten, Suchworte zu variieren (*BIOscrabble*-Baustein *Suchwortvariationen*).

Abbildung 5-1 gibt eine Übersicht über die Grundlagen für die Entwicklung der *BIOscrabble*-Bausteine *Suchwortarten*, *Suchwortvariationen* und *Biologische Publikationen*.

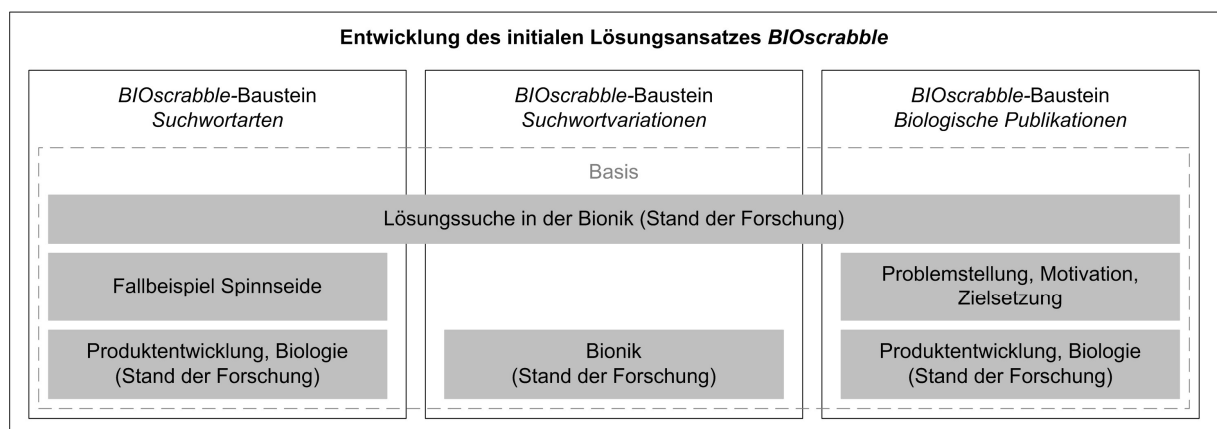


Abbildung 5-1: Übersicht über die Grundlagen für die Entwicklung der *BIOscrabble*-Bausteine

5.1.1 Fallbeispiel Spinnseide

Dieses Kapitel zeigt, dass bestehende Lösungsansätze zur direkten Nutzung biologischer Informationsquellen für die Lösungssuche in der Bionik auf eine Suche mit Suchworten zu den gewünschten Funktionen des zu entwickelnden technischen Systems fokussieren.

Vor dem Hintergrund, dass Denken in Funktionen in der Biologie nicht den gleichen Stellenwert hat wie in der Produktentwicklung (Kapitel 3.1.2, 3.2.3) und *BIOscrabble* auf eine Nutzung biologischer Publikationen zur Suche biologischer Lösungen für technische Probleme abzielt, ist es sinnvoll, diesen Fokus zu überdenken. Das zeigt folgendes Fallbeispiel:

Mit ihren faszinierenden Materialeigenschaften – enorme Reißfestigkeit bei gleichzeitiger sehr hoher Dehnbarkeit – ist Spinnseide seit Jahren öffentlich sichtbares Forschungsobjekt der Bionik (Socha und Bayern Innovativ Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH 2005; Röthlein 2013; Konetschny 2011; Internationales Bionik-Zentrum o. J.; Kutter 2010; SPIEGEL ONLINE GmbH 2015).

Von wem und wie genau Spinnseide als Lösung technischer Probleme entdeckt wurde, lässt sich nicht mehr nachvollziehen. Für die Entwicklung von *BIOscrabble* ist folgender fiktiver Fall relevant:

Ein Ingenieur hat ein technisches Problem, für das Spinnseide eine Lösung bieten kann. Ohne diese Kenntnis sucht er in biologischen Publikationen nach Lösungen. Er orientiert sich an bestehenden Lösungsansätzen zur direkten Nutzung biologischer Informationsquellen und sucht mit Suchworten zu den Funktionen, die das von ihm zu entwickelnde technische System erfüllen soll.

Um auf diesem Weg auf Publikationen zu Spinnseide zu stoßen, müssen die Publikationen Funktionen (für *BIOscrabble* definiert in Kapitel 5.1.2 ²⁶) enthalten. Die Untersuchung einer Stichprobe vom 04.05.2015 der Titel und *Abstracts* (Kurzbeschreibungen)²⁷ der 20 von *PubMed* als am relevantesten erachteten Publikationen zu dem Suchwort *spider silk* zeigt, dass eine explizite Nennung der Funktionen von Spinnseide in weniger als der Hälfte der Titel bzw. *Abstracts* (sieben von 20) vorhanden ist. Eigenschaften (für *BIOscrabble* definiert in Kapitel 5.1.2) von Spinnseide z. B. werden hingegen in 18 der 20 Titel bzw. *Abstracts* genannt. Die Untersuchungsdetails sind Kapitel 14.1 des Anhangs zu entnehmen.

Das Fallbeispiel verdeutlicht, dass bei einer Suche nur mit Funktionen biologische Information unentdeckt bleibt, die potentiell eine Lösung für ein technisches Problem bieten kann. Spinnseide als solche kann gefunden werden, die Bandbreite an Lösungen, die Spinnseide für verschiedene technische Probleme birgt, bleibt allerdings eingeschränkt. Während die *Abstracts*,

²⁶ Die *BIOscrabble*-Definition einer Funktion entspricht weitestgehend der, die in den in Kapitel 3.4 beschriebenen Ansätzen verwendet wurde.

²⁷ Titel und *Abstract* einer Publikation bieten dem Suchenden Orientierung bei der Entscheidung über die Relevanz einer Publikation. Da meist nicht alle aus einer Suche resultierenden Publikationen aufgrund zu hoher Anzahl oder fehlender Verfügbarkeit im Volltext gelesen werden können, ist das Vorkommen eines Suchwortes in deren Titeln bzw. *Abstracts* oft entscheidend für deren weitere Betrachtung als Lösungsquelle.

in denen Funktionen genannt sind, z. B. Informationen über die Erzeugung oder Beutefangfunktion von Spinnseide liefern, legen die *Abstracts*, in welchen Eigenschaften genannt sind, häufiger Informationen zu den eingangs erwähnten, im Fokus der Bionik stehenden, Materialeigenschaften von Spinnseide dar.

5.1.2 Entwicklung des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortarten*

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortarten* aus dem in den Kapiteln 3.1, 3.2 und 3.4 dargelegten Stand der Forschung sowie dem in Kapitel 5.1.1 illustrierten Fallbeispiel Spinnseide. Die Arten der in *BIOscrabble* zu nutzenden Suchworte werden hergeleitet und definiert. Es wird erläutert, wie diese generiert werden.

Das Fallbeispiel Spinnseide motiviert, bei der Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen auf mehr als nur Suchworte zu Funktionen des zu entwickelnden technischen Systems zu fokussieren. Auch die in existierender Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik vereinzelt genutzten Aspekte technischer und biologischer Systeme (Kapitel 3.4.4) sprechen für eine solche Erweiterung des Fokus. Eine Suche über Eigenschaften stellt eine – in dem Fallbeispiel Spinnseide geeignete – Möglichkeit dar.

Im Folgenden werden drei Arten von Suchworten vorgestellt, die – wie nachfolgend ausgeführt – gemeinsam das Potential haben, zu möglichst vielen biologischen Publikationen zu einem technischen Problem zu führen. Die Arten von Suchworten sind: die gewünschten Funktionen eines zu entwickelnden technischen Systems, dessen gewünschte Eigenschaften sowie dessen Umwelt.

Die Auswahl der drei Suchwortarten basiert auf Kaiser et al. (2012). Bestärkt wird die Auswahl zum einen durch die Tatsache, dass die in Kapitel 3.4 vorgestellten Ansätze zur Unterstützung der direkten Suche nach Lösungen in nicht spezifizierten biologischen Informationsquellen diese drei Suchwortarten unterstützen. Zum anderen wird sie bestärkt durch folgende Beobachtung von Yen et al. (2014, S. 180): Studierende, die in interdisziplinären Bioniklehrveranstaltungen bionische Lösungen für technische Probleme entwickelten, nutzten für die Entwicklung neben Ähnlichkeiten der Funktionen technischer und biologischer Systeme auch Ähnlichkeiten in deren Eigenschaften und Umwelt.

Nicht untersucht wurden diese, in den in Kapitel 3.4 beschriebenen Ansätzen zur Lösungssuche genutzten, Aspekte technischer und biologischer Systeme: Umsatz, Prinzipien, Effekte, mit technischen Funktionen assoziierte biologische Worte, *Specifications*, technische Widersprüche aus der *TRIZ*-Matrix und *Product Aspects*. Die Gründe hierfür waren: Die Aspekte Umsatz, Prinzipien und Effekte können weitestgehend über Funktionen, Eigenschaften und Umwelt eines Systems abgedeckt werden. Die Nutzung technischer Widersprüche und von *Product Aspects* ist nur unter Nutzung von *BioTRIZ* bzw. *SEABIRD* möglich, da *BIOscrabble* aber jederzeit und ohne weitere Hilfsmittel anwendbar sein soll, kommen diese Aspekte als Suchworte nicht in Betracht. Biologische Worte sowie *Specifications* bergen die Gefahr, die kreative Lösungsfindung durch vorgedachte Lösungen bzw. eine Fixierung auf die Umsetzung einer Lösung zu behindern.

Funktion

Eine Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme über gewünschte Funktionen ist – mit einer Ausnahme – allen existierenden Lösungsansätzen zur Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik gemein (Kapitel 3.4).

Forschung im Bereich der direkten Lösungssuche in biologischen Informationsquellen (zu welchen auch die in *BIOscrabble* adressierten biologischen Publikationen zählen) zeigt, dass über Suchworte zu den gewünschten Funktionen eines technischen Systems gute biologische Lösungen für technische Probleme gefunden werden können (Helms und Goel 2014; Lenau 2009; Nagel et al. 2010; Shu und Cheong 2014; Stroble et al. 2009b).

Die Funktion als Suchwortart wird in die Liste der in *BIOscrabble* zu nutzenden Suchwortarten aufgenommen.

Eine Funktion wird für *BIOscrabble* nach Feldhusen und Grote (2013b) sowie Lindemann (2009) definiert. Feldhusen und Grote (2013b, S. 242) definieren eine Funktion als „[...] der allgemeine und gewollte Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen [...]“. Laut Lindemann (2009, S. 331) ist eine Funktion „[...] eine am Zweck orientierte, lösungsneutrale, als Operation beschriebene Beziehung zwischen den Eingangs- und Ausgangsgrößen eines Systems. Funktionen werden durch Kombination eines Substantivs und einem Verb beschrieben.“.

Die abgeleitete Definition für die Suchwortart *Funktion* für *BIOscrabble* lautet:

Eine Funktion ist der lösungsneutrale Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgang eines Systems zur Erfüllung einer Aufgabe beschrieben durch ein Verb.

Beispiele für Funktionen sind *schützen*, *übertragen* oder *halten*.

Der von Lindemann (2009) festgelegten Kombination eines Substantivs mit einem Verb wird hier nicht nachgekommen, da für die Lösungssuche in der Bionik beobachtet wurde, dass die Verwendung von Substantiven als Suchworte eine lösungsneutrale Suche erschwert. Chiu und Shu (2004, S. 171) fanden heraus, dass Verben den Lösungssuchenden weniger in eine bereits von ihm vorgedachte Richtung lenken als Substantive. Laut Shu (2006, S. 103) führt ein Suchen nach biologischen Lösungen mit Verben, die eine gewünschte Funktion beschreiben, mit höherer Wahrscheinlichkeit zu biologischen Systemen, die dem Suchenden unbekannt sind, als ein Suchen mit Substantiven.

Zu beachten ist: mit Substantiv ist hier nicht die Wortart gemeint, sondern das sich auf das Verb einer Funktion beziehende Objekt (z. B. *Getränke* in der Funktion *Getränke transportieren*). Eine Substantivierung des Verbs einer Funktion (z. B. *Transport*) ist erwünscht (Kapitel 5.1.3).

Eigenschaft

Nicht nur das Fallbeispiel Spinnseide weist auf die Eignung von Eigenschaften als Suchworte für die Lösungssuche in der Bionik hin.

Die auf dem *FBS*-/ *SBF*- und dem *SAPPhIRE*-Modell basierenden Ansätze zur Unterstützung der Suche nach Analogien zwischen Technik und Biologie sowie *SEABIRD* und die *Four Box*

Method unterstützen die Nutzung von Systemeigenschaften, um biologische Lösungen für technische Probleme zu suchen (Kapitel 3.4). Eine potentielle Eignung von Adjektiven, die technische Eigenschaften beschreiben, für eine Suche nach Lösungen für technische Probleme in biologischen Textquellen geben Shu et al. (2011, S. 681) an.

Die Eigenschaft als Suchwortart wird in die Liste der in *BIOscrabble* zu nutzenden Suchwortarten aufgenommen.

Eine Eigenschaft wird für *BIOscrabble* nach Eder und Hosnedl (2007) sowie Ponn und Lindemann (2011) definiert. Die Definition von Eder und Hosnedl (2007, S. 309) lautet: „A property is anything that is possessed (owned) by an object (a TS).“ – (TS ist die Abkürzung für technical system, also technisches System). Da Eder und Hosnedl (2007) auch Funktionen zu Systemeigenschaften zählen und sich in den von ihnen aufgestellten Eigenschaftsklassen Klassen finden, die für die Lösungssuche in der Bionik wenig geeignet sind, wird die Definition von Eigenschaften von Eder und Hosnedl (2007) für *BIOscrabble* eingeschränkt. Der vollständige Katalog ihrer Eigenschaftsklassen findet sich in Kapitel 6.6 des Buchs *Design Engineering – A Manual for Enhanced Creativity* (Eder und Hosnedl 2007).

Für *BIOscrabble* sind folgende der Eigenschaftsklassen von Eder und Hosnedl (2007) interessant:

- *Design Characteristics, General Design Properties* und *Elemental Design Properties*: Diese Klassen sind zusammengefasst unter *Internal Properties* (interne Eigenschaften). *Internal Properties* sind definiert als die Kerneigenschaften eines technischen Systems. Sie werden vom Entwickler des technischen Systems festgelegt. Beispiele sind die Bauweise eines Systems (*modular, leicht, etc.*), die Beständigkeit eines Systems (*kältebeständig, hitzebeständig, etc.*) und Toleranzen eines Systems (*fein, grob, etc.*).
- *Functionally Determined Properties* und *Operational Properties*: Diese Klassen gehören zu den *External Properties* (externe Eigenschaften), genauer zu den *Purpose Properties* (Zieleigenschaften). *Purpose Properties* sind entscheidend für die Zweckmäßigkeit eines technischen Systems. Beispiele sind Leistungsbewertungen des Systems (*schnell, robust, etc.*) und Energiebedarfe (*elektrisch, chemisch, etc.*).

Ponn und Lindemann (2011) definieren Eigenschaft als „Tatsächliches oder gefordertes Charakteristikum eines Betrachtungsobjektes, z. B. eines Produkts oder Prozesses. Eine Eigenschaft setzt sich formal aus einem Merkmal (z. B. *Wandstärke*) und einer Ausprägung (z. B. *12 mm*) zusammen.“.

Die abgeleitete Definition für die Suchwortart *Eigenschaft* für *BIOscrabble* lautet:

Eine Eigenschaft ist ein gefordertes Charakteristikum eines Systems. Sie wird vom Entwickler des Systems festgelegt und bzw. oder ist entscheidend für dessen Zweckmäßigkeit. Funktionen eines technischen Systems zählen nicht zu dessen Eigenschaften.

Beispiele für Eigenschaften sind *leicht, hitzebeständig* oder *schnell*.

Umwelt

Biologische Systeme entwickeln sich in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt. Sie sind daher auffällig gut an bestimmte Umweltbedingungen angepasst (Campbell 2000, S. 10, 14). Um diese Anpassung für die Entwicklung eines technischen Systems, das unter den gleichen Umweltbedingungen arbeiten soll, nutzen zu können, ist es sinnvoll, biologische Lösungen über Suchworte zur zukünftigen Umwelt des zu entwickelnden technischen Systems zu suchen.

Dieser Standpunkt findet Unterstützung in der Literatur:

Für die Bionik erkannten Shu und Cheong (2014, S. 51, 54) die Bedeutung der Betrachtung der Umwelt von technischen und biologischen Systemen bei der Suche nach biologischen Lösungen für die Verbesserung eines *Light Detection and Ranging (LiDAR)*-Systems für die Anwendung auf dem Mond. Das Problem bestehender *LiDAR*-Systeme ist ein unzureichender Schutz gegen Mondstaub. Eine Muschel birgt durch ihre Anpassung an eine sandige Umgebung passende Lösungen für dieses Problem. Die Muschel wurde über Suchworte zur Funktion des *LiDAR*-Systems nicht gefunden und war als biologische Lösung besser geeignet als das funktional ähnlichere biologische System Auge. Eine Analyse von Beschreibungen technischer Probleme für eine interdisziplinäre Bioniklehrveranstaltung ergab, dass die betrachteten studentischen Teams mit großer Regelmäßigkeit intuitiv auf mit dem Problem assoziierte Umweltfaktoren fokussierten (Helms und Goel 2013, S. 357) – möglicherweise angeregt durch die Erfahrung mit biologischen Informationsquellen seitens der Biologen im Team. Auch *IDEA-INSPIRE*, *SEABIRD* und die *Four Box Method* unterstützen die Betrachtung und Nutzung der Umwelt eines Systems bei der Suche nach Analogien zwischen Technik und Biologie (Kapitel 3.4).

Unabhängig von der Entwicklung bionischer Produkte weisen Ranjan et al. (2013) auf die Bedeutung der Betrachtung der Umwelt eines technischen Systems für die Produktentwicklung hin.

Die Umwelt als Suchwortart wird in die Liste der in *BIOscrabble* zu nutzenden Suchwortarten aufgenommen.

Die Definition für die Suchwortart Umwelt für *BIOscrabble* orientiert sich an keiner speziellen bestehenden Definition. Sie lautet:

Die Umwelt ist die Umgebung eines Systems. Sie wirkt auf das System ein und beeinflusst dieses. Das System kann mit seiner Umwelt in Wechselwirkung stehen. Die Umwelt kann sowohl physischer als auch abstrakter Natur sein.

Beispiele für die physische Umwelt eines Systems sind *Wasser*, *Schmutz* oder angrenzende Bauteile, Beispiele für die abstrakte Umwelt eines Systems sind *Hitze*, *Druck* oder *Reibung*.

Alle Suchwortarten

Die Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* werden aus der Beschreibung des vom Nutzer zu lösenden technischen Problems abgeleitet (Kapitel 5.2).

5.1.3 Entwicklung des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortvariationen*

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortvariationen* aus dem in den Kapiteln 3.3 und 3.4 dargelegtem Stand der Forschung. Die in *BIOscrabble* zu nutzenden Suchwortvariationen werden hergeleitet und definiert. Es wird erläutert, wie diese generiert werden.

Forschungsergebnisse im Bereich der direkten Lösungssuche in biologischen Informationsquellen (zu denen auch biologische Publikationen zählen) weisen darauf hin, dass disziplinspezifische Sprachunterschiede zwischen Ingenieuren und Biologen für eine erfolgreiche Suche überbrückt werden müssen. Bestätigt wird dies u. a. von Gebeshuber (2008), Jordan (2008, S. 107), Shu und Cheong (2014), Stroble et al. (2009b) und Stroble et al. (2009a).

Da hierzu keine eigenen Untersuchungen angestellt wurden, setzt sich der *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortvariationen* hauptsächlich aus den Suchwortvariationen zusammen, die in existierenden Ansätzen für eine Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme direkt in biologischen Informationsquellen bereits als geeignet erachtet wurden: Synonyme, Hyponyme, Hyperonyme und Antonyme. Ergänzt werden diese Suchwortvariationen durch *Wortstammbasierte Variationen* der Suchworte. Der Grund hierfür und der Nutzen der Suchwortvariationen aus dem Stand der Forschung sind nachfolgend erläutert. Im Fall der Suchwortvariationen aus dem Stand der Forschung wird angenommen, dass die hauptsächlich auf Funktionen beruhenden Beobachtungen auf die Suchwortarten *Eigenschaften* und *Umwelt* übertragen werden können. Die Annahme wird unterstützt durch Kaiser et al. (2012).

Suchwortvariationen erweitern den Fundus bereits generierter Suchworte.

Synonym

Für die Suche nach biologischen Lösungen in einem Biologielehrbuch stellten Vakili und Shu (2001) fest, dass eine Suche mit Synonymen der für die Suche generierten Suchworte die Wahrscheinlichkeit stark erhöhte, biologische Lösungen zu finden, die Potential zur Lösung des technischen Problems hatten.

Ein Synonym eines Wortes ist ein *sinnverwandtes Wort* dieses Wortes (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.). *Erschaffen* und *erzeugen* sind z. B. Synonyme von *entwickeln*.

Hypo- und Hyperonym

Laut Chiu und Shu (2004, S. 106) verstärkten Troponyme (als Teil der Hyponyme) und Hyperonyme den positiven Effekt, den Synonyme bei Vakili und Shu (2001) auf die Lösungssuche in der Bionik hatten. Troponyme waren – im Vergleich zu Synonymen – für die Suche nach biologischen Lösungen in einem Biologielehrbuch die besser geeigneten und ergiebigeren Suchworte.

Ein Hyponym ist ein einem Begriff *untergeordneter Begriff*, ein Hyperonym ein einem Begriff *übergeordneter Begriff* (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.). *Elefant* oder *Krake* sind z. B. Hyponyme von *Tier*, *Tier* ist ein Hyperonym von *Elefant* und *Krake*.

Antonym

Eine Nutzung von Antonymen gewünschter Funktionen eines zu entwickelnden Systems als Suchworte erwies sich als eine geeignete Suchstrategie in einer interdisziplinären Bioniklehrveranstaltung, in der Studierende biologische Lösungen für technische Probleme u. a. in biologischen Publikationen suchten (Yen et al. 2011; Vattam und Goel 2013). Auch für die Lösung des in Kapitel 5.1.2 vorgestellten Problems der Verbesserung bestehender *Light Detection and Ranging (LiDAR)*-Systeme erwies sich die Nutzung eines Antonyms einer der gewünschten Funktionen des Systems als zielführend (Shu und Cheong 2014, S. 51).

Ein Antonym eines Wortes ist ein *Gegenwort* dieses Wortes (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.). *Heiß* und *kalt* sind z. B. Antonyme voneinander.

Wortstammbasierte Variation

Die *Wortstammbasierte Variation* wurde zusätzlich zu den aus dem Stand der Forschung abgeleiteten Suchwortvariationen aufgenommen. Sie überbrückt weniger disziplinspezifische Unterschiede als individuelle Unterschiede in der Nutzung von z. B. Verbal- oder Nominalstil. Durch ihre Nutzung wird die Wahrscheinlichkeit reduziert, dass biologische Lösungen nicht gefunden werden, deren textuelle Beschreibung ein bestimmtes Wort z. B. als Substantiv (Bewegung) oder Adjektiv (beweglich) enthält, das Suchwort aber das Verb dieses Wortes (bewegen) ist.

Eine *Wortstammbasierte Variation* ist für *BIOscrabble* folgendermaßen definiert:

Eine Wortstammbasierte Variation ist die Variation eines Suchwortes ausgehend von dessen Wortstamm. Der Fokus liegt auf der Bildung von möglichen Substantiven, Verben und Adjektiven des Suchwortes.

Ein Beispiel ist das Generieren des Substantivs *Bewegung* und des Adjektivs *beweglich* aus dem Verb *bewegen*.

Alle Suchwortvariationen

Ein Hilfsmittel zur Generierung von Synonymen, Hyponymen, Hyperonymen, Antonymen und *Wortstammbasierten Variationen* ist *WordNet* (Cheong et al. 2008; Princeton University o. J.). *WordNet* hat sich zur Generierung von Suchwortvariationen für die Lösungssuche in der Bionik bewährt. Auch für eine Suche nach Analogien bzw. Lösungen für technische Probleme im Allgemeinen kann die Nutzung von *WordNet* von Vorteil sein (Linsey et al. 2012; Shu und Cheong 2014, S. 35–36).

WordNet ist eine lexikalische Datenbasis englischer Substantive, Verben, Adjektive und Adverben. Synonyme Worte sind miteinander verknüpft. Worte, die begrifflich gleich und deshalb austauschbar sind, sind zu *synsets* zusammengefasst. *Synsets* sind über Hypo-, Hyper- oder Meronymie (Teil-von-Beziehung) verknüpft, wobei Hypo- und Hyperonymie die häufigste Art der Verknüpfung ist. *Synsets* von Verben sind hierarchisch über Troponymie, Adjektive über Antonymie organisiert (Princeton University o. J.).

Für das Generieren oben genannter Suchwortvariationen kann *WordNet* online genutzt oder heruntergeladen werden.

5.1.4 Entwicklung des *BIOscrabble*-Bausteins *Biologische Publikationen*

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung des *BIOscrabble*-Bausteins *Biologische Publikationen* aus der Problemstellung, Motivation und Zielsetzung der Arbeit sowie dem in den Kapiteln 3.1, 3.2 und 3.4 beschriebenen Stand der Forschung. Die Entscheidung für das Vorgeben biologischer Publikationen als biologische Lösungsquelle in *BIOscrabble* sowie die Definition und Bezugsquelle einer biologischen Publikation werden dargelegt.

Biologische Publikationen sind eine sehr umfassende und aktuelle Quelle biologischer Information. Biologische Information, die in anderen Quellen wie Lehrbüchern oder populärwissenschaftlichem Text-, Ton-, Bild- oder Filmmaterial aufbereitet ist, basiert auf diesen Publikationen, ist aber eine komprimierte Ausgabe derer Inhalte. Details gehen verloren, die für die Lösungssuche in der Bionik von Nutzen sein können. Auch neue biologische Erkenntnisse werden in genannten Quellen nicht, verzögert oder nur punktuell dargelegt. Bis z. B. eine neue Erkenntnis in ein Biologielehrbuch aufgenommen wird, muss sich diese festigen und das Buch neu bzw. erstaufgelegt werden. Die Aufbereitung neuer Erkenntnisse in populärwissenschaftlichem Text-, Ton-, Bild- oder Filmmaterial setzt ein öffentliches Interesse an diesen voraus, welches nicht in jedem Fall gegeben ist.

Forschungsergebnisse im Bereich der analogienbasierten Lösungssuche in der Produktentwicklung weisen darauf hin, dass Umfang, Aktualität und Form der Lösungsquelle *Biologische Publikationen* die Entstehung innovativer technischer Lösungsideen fördern können:

Gassmann und Zeschky (2008) fanden heraus, dass ein Öffnen des Lösungsraums die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung innovativer Produkte erhöht. Eine Möglichkeit, den Lösungsraum zu öffnen, ist eine Erweiterung der Quelle möglicher Lösungen. Je größer der durch die Lösungsquelle mögliche Lösungsraum, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Lösung enthalten ist, die Ingenieuren unbekannt und bislang für die Technik ungenutzt ist. Durch die Nutzung biologischer Publikationen als Quelle biologischer Lösungen ist der über die Lösungsquelle bestimmte Lösungsraum größtmöglich.

Für die Bionik stellten Shu und Cheong (2014, S. 31) fest, dass ihr Problemlösungspotential vollumfänglicher genutzt wird, wenn die als Analogie dienenden biologischen Systeme nicht sofort auf der Hand liegen. Sowohl die Anzahl als auch die Aktualität biologischer Publikationen trägt dazu bei, dass neben offensichtlichen biologischen Lösungen auch immer neue, nicht naheliegende Lösungen präsentiert werden. Die Präsentation nicht naheliegender Lösungen kann – neben der Lösungsquelle – zur Erweiterung des Lösungsraums beitragen. Sie senkt die Wahrscheinlichkeit, dass die Anzahl von Lösungsideen durch ein unbewusstes Festhalten an einigen, zu Beginn generierten Ideen eingeschränkt wird (Linsey und Viswanathan 2014, S. 238).

Eine Herausforderung der Nutzung biologischer Publikationen für die Entwicklung bionischer Lösungen durch Ingenieure ist die Form, in welcher die enthaltene biologische Information dargeboten wird. Die Zielgruppe biologischer Publikationen sind Experten auf dem präsentierten biologischen Gebiet. Sowohl Text als auch Abbildungen sind für Ingenieure möglicherweise schwer verständlich (Shu und Cheong 2014, S. 35). Im Hinblick auf die Entwicklung neuartiger technischer Lösungen kann diese Herausforderung von Vorteil sein: Benami und Jin (2002, S. 169) fanden heraus, dass unklare Stimuli zu neuartigen Produktideen führen als

eindeutige. Eine Studie im Bereich der Lösungssuche in der Bionik mit Studierenden des Maschinenwesens von Mak und Shu (2008, S. 28) zeigte, dass auch für die Entwicklung bionischer Produktideen unklare Stimuli hilfreich sein können. Laut Vogel (2000, S. 258) „verhält sich der Erfolg“ bionischer Lösungen „umgekehrt zu unserer Kenntnis der wissenschaftlichen Grundlagen“.

Das hohe Potential biologischer Publikationen, Lösungen für technische Probleme bereitzustellen spiegelt sich in einer Studie von Vattam und Goel (2013, S. 351) wider: Interdisziplinäre Studierendenteams, die in Bioniklehrveranstaltungen online nach biologischen Lösungen für technische Probleme suchten, suchten unaufgefordert am häufigsten in biologischen Publikationen – möglicherweise bedingt durch die Biologen in den Teams.

Die Definition einer biologischen Publikation für *BIOscrabble* orientiert sich an den von *PubMed* angebotenen Publikationen. *PubMed* ist die in *BIOscrabble* vorgegebene Bezugsquelle biologischer Publikationen; jede dort gefundene Lösung für ein technisches Problem soll genutzt werden können. *PubMed* enthält neben Publikationen aus dem Bereich der Biowissenschaften (z. B. der Biologie, der Biomedizin, der Biochemie, der Biophysik, etc.) auch Publikationen aus dem Gesundheitswesen, den Verhaltenswissenschaften, der Chemie oder der Biotechnologie (National Center for Biotechnology Information o. J.a).

Eine biologische Publikation ist für *BIOscrabble* demnach folgendermaßen definiert:

Eine biologische Publikation ist eine wissenschaftliche Publikation aus dem Bereich der Biowissenschaften, dem Gesundheitswesen, den Verhaltenswissenschaften, der Chemie oder der Biotechnologie.

Biologische Publikationen werden in *BIOscrabble* über *PubMed* (National Center for Biotechnology Information o. J.a) bezogen.

PubMed ist eine der bedeutendsten, freien Online-Quellen für biowissenschaftliche Information (McEntyre und Lipman 2001, S. 1317). Sie enthält mehr als 25 Millionen Referenzen auf biowissenschaftliche Publikationen (National Center for Biotechnology Information o. J.a) und bietet eine „optimal update frequency“ (optimale Aktualisierungsfrequenz) (Falagas et al. 2008, S. 338). Bis zum Jahre 2000 wurde eine jährliche Anzahl getätigter Suchen von 250 Millionen gezählt (Lindberg, Donald A. B. 2000, S. 257).

Biologische Publikationen werden in *PubMed* über ein oder mehrere Suchworte gesucht. Suchworte können über die Booleschen Operatoren *AND (UND)*, *OR (ODER)* oder *NOT (NICHT)* verknüpft werden. Neben einer allgemeinen Suchfunktion bietet *PubMed* die Möglichkeit einer erweiterten Suche über den *PubMed Advanced Search Builder* in dem z. B. definiert werden kann, wo nach einem Suchwort gesucht werden soll (z. B. nur in den Titeln oder *Abstracts* der in *PubMed* enthaltenen Publikationen). Bereits getätigte Suchen können gespeichert und regelmäßige Updates derselben angefordert werden. Wenn gewünscht, bietet *PubMed* Unterstützung bei der Generierung der Suchworte durch z. B. *MeSH (Medical Subject Headings) Terms* (National Network of Libraries of Medicine o. J.) (Kapitel 6.2.2). Bei einer Suche in *PubMed* ist zu beachten, dass die eingegebenen Suchworte für die Suche eventuell von *PubMed* ergänzt oder verändert werden. Eine mögliche Ergänzung oder Veränderung ist den *Search Details*, die zusammen mit den aus einer Suche resultierenden Publikationen angezeigt werden, zu entnehmen.

PubMed ist aufgrund von Bedeutung, Umfang und Funktionen die für *BIOscrabble* am besten geeignete Quelle biologischer Publikationen. Andere Quellen biologischer Publikationen wie *Google Scholar* (Google Inc. o. J.b) decken ebenfalls einen Großteil der verfügbaren biologischen Publikationen ab, scheinen aber durch die fehlende Spezialisierung auf diese Publikationen für *BIOscrabble* weniger gut geeignet zu sein (Kapitel 6.2.4).

5.2 Illustration von *BIOscrabble*

Dieses Kapitel illustriert den initialen Lösungsansatz *BIOscrabble* (Abbildung 5-2).

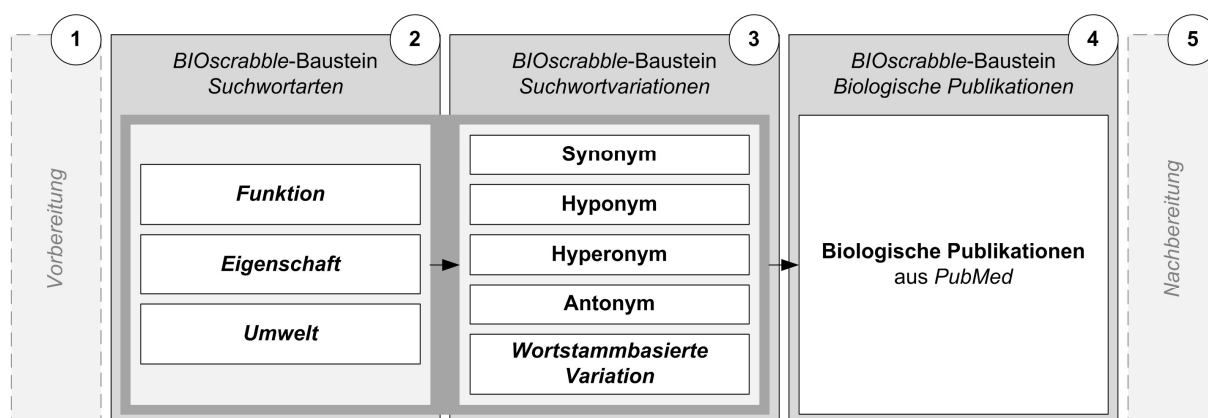


Abbildung 5-2: Initialer Lösungsansatz *BIOscrabble*; die Nummerierung entspricht der Nummerierung der Schritte der Anwendung von *BIOscrabble*

BIOscrabble zielt darauf ab, Ingenieure bei der Suche nach biologischen Lösungen für ein gegebenes technisches Problem in biologischen Publikationen in ihrem Vorgehen zu unterstützen.

Ingenieure wenden *BIOscrabble* in folgenden Schritten an:

1. **Vorbereitung:** Das zu lösende technische Problem wird umfassend beschrieben. Berücksichtigt werden funktionale Aspekte des Problems bzw. des zu entwickelnden technischen Systems, gewünschte Eigenschaften des zu entwickelnden Systems sowie die Umwelt, welcher das zu entwickelnde System ausgesetzt ist (Kapitel 5.1.2).
2. ***BIOscrabble*-Baustein Suchwortarten:** Aus der Problembeschreibung werden deutsche oder englische Suchworte extrahiert und den Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* zugeordnet. Die in Kapitel 5.1.2 dargelegten Definitionen der Suchwortarten werden den Ingenieuren zur Verfügung gestellt. Ergebnis des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortarten* sind Suchworte aller Suchwortarten.
3. ***BIOscrabble*-Baustein Suchwortvariationen:** Die aus dem *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortarten* resultierenden Suchworte werden variiert. Es werden Synonyme, Hyponyme, Hyperonyme, Antonyme und *Wortstammbasierte Variationen* generiert. Zur Generierung der Suchwortvariationen wird *WordNet* (wordnet.princeton.edu) (Princeton University o. J.) genutzt. Ergebnis des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortvariationen* sind zusätzliche Suchworte aller Suchwortarten.

4. *BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen*: Die aus den *BIOscrabble*-Bausteinen *Suchwortarten* und *-variationen* resultierenden Suchworte werden in englischer Form zur Suche nach biologischen Publikationen genutzt. Als Bezugsquelle biologischer Publikationen gibt *BIOscrabble PubMed* (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) vor. Ergebnis des *BIOscrabble*-Bausteins *Biologische Publikationen* sind biologische Publikationen, die aus den in *PubMed* durchgeführten Suchen resultieren.
5. Nachbereitung: Auf Basis der aus dem *BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen* resultierenden biologischen Publikationen werden bionische Lösungsideen für das zu lösende technische Problem entwickelt.

6. Qualitative Anwendungsevaluation von *BIOscrabble*

Dieses Kapitel beschreibt die Evaluation der Anwendung von *BIOscrabble* in einer qualitativen Studie mit Studierenden des Maschinenwesens. Es werden der Aufbau sowie die Ergebnisse der Studie illustriert.

Die qualitative Anwendungsevaluation wurde in Teilen bereits in Kaiser et al. (2013, 2014) veröffentlicht.

Für dieses und die folgenden Kapitel gilt:

Suchworte, Suchwortvariationen, Suchwortarten, Suchwortkombinationen, Publikationen oder Vorgehensweisen, die ein biologisches System ergaben, das zu einer bionischen Lösungsidee geführt oder beigetragen hat, werden als nützlich bezeichnet.

6.1 Aufbau der Studie

Dieses Kapitel beschreibt den Aufbau der qualitativen Studie. Beschrieben werden die Studienteilnehmer, deren Aufgabe, der zeitliche und örtliche Rahmen für die Bearbeitung der Aufgabe, die Rolle der Studienleiterin sowie das untersuchte Material und dessen Auswertung.

6.1.1 Teilnehmer

An der Studie nahmen – stellvertretend für Ingenieure – 14 Studierende des Maschinenwesens ab dem dritten Studienjahr teil. Keiner der Studienteilnehmer hatte Fachkenntnisse im Bereich Bionik oder Biologie, ein Interesse in diesen Bereichen bestand bei allen Teilnehmern. *BIOscrabble* wurde vor der Studie von keinem der Teilnehmer angewendet. Bei allen Studienteilnehmern war die Teilnahme an der Studie an einen Leistungsnachweis gekoppelt, es kann daher davon ausgegangen werden, dass der Einsatz für die Studie für alle Studienteilnehmer hoch war.

Neun der 14 Studienteilnehmer arbeiteten alleine, fünf der 14 Studienteilnehmer arbeiteten in einem Zweier- bzw. einem Dreier-team (Kapitel 6.1.4). Die Ergebnisse der Teammitglieder wurden zu Teamergebnissen zusammengeführt und den Einzelergebnissen bei der Auswertung der Studie gleichrangig gegenübergestellt. Dies ist insofern legitim, als dass es nicht Ziel der Studie war, die Studienergebnisse einzelner Teilnehmer zu bewerten oder zu vergleichen. Die Studie zielte darauf ab, Hinweise zu erhalten, wie bei der Anwendung von *BIOscrabble* vorgegangen wird und wie die Anwendung weiter unterstützt werden kann.

Die Muttersprache von acht der 14 Studienteilnehmer war deutsch, die von sechs Studienteilnehmern englisch.

Die Initialen der Vor- und Nachnamen, die Muttersprache und der Arbeitsmodus (alleine oder im Team) der Studienteilnehmer sind Tabelle 6-1 zu entnehmen.

Tabelle 6-1: Übersicht über die bearbeiteten technischen Probleme und Studienteilnehmer

| technisches Problem | | Studienteilnehmer | | |
|--|------------|-------------------|---------------|--------------|
| Name (Kurzbezeichnung) | Häufigkeit | Initialen | Muttersprache | Arbeitsmodus |
| Entwicklung eines handlichen Instruments zur Trinkwasserherstellung aus verunreinigtem Wasser (Wasseraufbereitung) | 1 | JF | deutsch | alleine |
| Entwicklung eines Autoreifens zur Reduzierung von Aquaplaning (Aquaplaning) | 1 | AH | deutsch | alleine |
| Entwicklung eines Kochtopfs mit anpassbarer Wärmeleitung (Wärmeleitung) | 1 | DM | englisch | alleine |
| Entwicklung eines selbstschärfenden Messers (Selbstschärfung) | 2 | MW | deutsch | alleine |
| | | AM, TR | englisch | im Team |
| Entwicklung eines Mechanismus zur Reduzierung von Spannung in Gepäckstücken (Spannungsreduzierung) | 3 | JDM, RM, CM | englisch | im Team |
| | | MT | deutsch | alleine |
| | | FD | deutsch | alleine |
| Entwicklung eines von elektrischer Energie unabhängigen Instruments zur Haartrocknung (Haartrocknung) | 1 | FK | deutsch | alleine |
| Entwicklung eines handlichen, wiederverwendbaren Instruments zur Befestigung von Seilen und Kabeln an Wasserrohren (Befestigung) | 1 | JS | deutsch | alleine |
| Entwicklung einer Seil-Elektromotor-Anbindung in Seilzugmaschinen (Seil-Motor-Anbindung) | 1 | PS | deutsch | alleine |

6.1.2 Aufgabe und zeitlicher sowie örtlicher Rahmen

Aufgabe der Studienteilnehmer war das Lösen eines technischen Problems anhand von Inspirationen aus der Biologie. Das technische Problem wurde gewählt oder, wenn gewünscht, von der Studienleiterin (der Autorin dieser Arbeit) gegeben. Intention der Möglichkeit der Wahl des technischen Problems durch die Studienteilnehmer war eine Erhöhung der Motivation der Teilnehmer für die zu bearbeitende Aufgabe.

In der Studie wurde eines der technischen Probleme zweimal und eines dreimal gewählt und bearbeitet. Die bearbeiteten technischen Probleme und deren Häufigkeit sind Tabelle 6-1 zu entnehmen. Die Kurzbezeichnung der technischen Probleme ist in Klammern gegeben. Die technischen Probleme werden in nachfolgenden Kapiteln unter dieser Kurzbezeichnung aufgeführt.

Das Vorgehen zur Lösung der technischen Probleme wurde durch die obligatorische Anwendung von *BIOscrabble* (wie in Kapitel 5.2 illustriert) vorgegeben. Die Studienteilnehmer wurden dazu ermutigt, *BIOscrabble* zu erweitern, sofern sie dies bei der Suche nach biologischen Lösungen unterstützte.

Die Aufgabe der Studienteilnehmer galt als beendet, wenn die in Kapitel 6.1.3 aufgeführte schriftliche Dokumentation vorhanden war.

Der zeitliche Rahmen für die Bearbeitung der Aufgabe waren sechs Monate. Der Ort der Bearbeitung der Aufgabe war den Studienteilnehmern freigestellt.

6.1.3 Rolle der Studienleiterin

Die Studienleiterin informierte die Studienteilnehmer zu Beginn der Studie über das Ziel der Studie (Kapitel 2).

Die Studienteilnehmer bearbeiteten ihre Aufgaben weitestgehend selbstständig. Die Beteiligung der Studienleiterin beschränkte sich auf die Diskussion von Fragen zum Umgang mit *BIOscrabble* in Treffen, die im Abstand von ca. zwei Wochen oder nach Bedarf der Studienteilnehmer stattfanden.

6.1.4 Untersuchtes Material und Auswertung des Materials

Das für die Studie untersuchte Material waren die schriftlichen Dokumentationen (Studienarbeiten) der Studienteilnehmer (Produktentwicklung 2013a, 2013b, 2013c, 2013e, 2013f, 2013d, 2013g, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d). Die Dokumentationen mussten folgendes enthalten:

1. Beschreibung des bearbeiteten technischen Problems
2. Suchworte für die Lösungssuche mit *BIOscrabble* und deren Generierung
3. Zuordnung der generierten²⁸ Suchworte zu den Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt*. Kapitel 14.2 des Anhangs zeigt die generierten Suchworte der Studienteilnehmer mit der von der Studienleiterin überprüften Zuordnung (Kapitel 6.2.2) zu den Suchwortarten.
4. Zuordnung der Suchwortvariationen zu den Suchworten auf Basis derer sie generiert wurden; Kennzeichnung der Suchwortvariationen als Synonym, Hyponym, Hyperonym, Antonym oder *Wortstammbasierte Variation* (Kapitel 14.2 des Anhangs)
5. Tabellarische Dokumentation der Lösungssuche in *PubMed* inklusive aller Suchanfragen und – für die Suchanfragen, zu welchen mindestens eine Publikation untersucht wurde – der Anzahl resultierender, durchgesehener, untersuchter²⁹ und für die Entwicklung von bionischen Lösungsideen nützlicher biologischer Publikationen sowie den Titeln der untersuchten und nützlichen Publikationen (Kapitel 14.3 des Anhangs)
6. Positive, wertfreie und negative Kommentare zur Generierung, Nutzung und Nützlichkeit der Suchworte im Allgemeinen und der Suchwortvariationen im Speziellen, zur Nutzung und Nützlichkeit der Suchwortarten und zur Lösungssuche in biologischen Publikationen bzw. *PubMed*

²⁸ Generierte Suchworte sind Suchworte, die in mindestens einer der zur Suche nach biologischen Lösungen genutzten Suchanfragen enthalten sind.

²⁹ Wann eine Publikation als durchgesehen oder untersucht gilt, beschreibt Kapitel 6.2.1.

7. Schriftliche Beschreibung, Skizze oder Prototyp einer oder mehrerer bionischer Lösungsideen mit Referenz auf die biologischen Publikationen, die dazu geführt oder beigetragen haben

Die Auswertung des untersuchten Materials erfolgte durch die Studienleiterin. Das untersuchte Material wurde vor der Auswertung nicht interpretiert oder gefiltert. Alle der in den Dokumentationen aufgeführten Ergebnisse der Studienteilnehmer wurden in dort dargelegter Form berücksichtigt.

Die zwei an der Studie teilnehmenden Teams wurden wie ein alleine arbeitender Studienteilnehmer behandelt (Kapitel 6.1.1). Betrachtet wurden demnach elf Einheiten der 14 Studienteilnehmer (^EStudienteilnehmer).

Die Auswertung der tabellarischen Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer bezüglich Vorkommen und Häufigkeit von Suchworten in biologischen Publikationen sowie deren Nützlichkeit basierte auf den Titeln und *Abstracts* der Publikationen, nicht deren Volltexten. Der Grund hierfür war: *PubMed* sucht nach gegebenen Suchworten nur in den Quellenangaben (u. a. den Titeln) und den *Abstracts* der hinterlegten Publikationen (National Center for Biotechnology Information o. J.a, E-Mail-Korrespondenz). Eine Auswertung der oben genannten Studienergebnisse auf Basis der Volltexte biologischer Publikationen führte dazu, dass sich die aus den Studienergebnissen für den erweiterten Lösungsansatz abgeleiteten Suchstrategien zwar für die Suche in den Volltexten biologischer Publikationen, aber nicht zwingend für eine Suche derselben in *PubMed* eigneten (was unter anderem Ziel der Studie war). Da die Volltexte biologischer Publikationen auch unabhängig von *PubMed* in den wenigsten Fällen frei verfügbar sind, ist die Entscheidung, welche Publikationen einer Suche eine Lösung für ein gegebenes technisches Problem inspirieren können, zudem mit hoher Wahrscheinlichkeit einfacher, wenn der Suchende die genutzten Suchworte in Titel oder *Abstract* wiederfindet.

Zusätzlich zu dem untersuchten Studienmaterial wurden unter gleichen Bedingungen die schriftlichen Kommentare (Punkt 6 des untersuchten Studienmaterials) von zwei Einheiten Anwendern (^EAnwender) von *BIOscrabble* untersucht. Ein Studierender des Maschinenwesens und ein Team aus Studierenden des Maschinenwesens und der Biologie wendeten *BIOscrabble* im Rahmen ihrer Diplomarbeit und eines Bionikprojektes an. In beiden Fällen stand die Anwendung von *BIOscrabble* nicht im Fokus, sondern wurde im Gesamtprozess der Bionik für die Lösungssuche eingesetzt. Auch wenn *BIOscrabble* von den ^EAnwendern nicht im Rahmen der qualitativen Studie angewendet wurde, waren deren Kommentare zur Anwendung von *BIOscrabble* wertvoll für dessen Weiterentwicklung.

Im Folgenden gilt:

Ist von Ergebnissen der Studie die Rede, schließt dies die Kommentare der ^EAnwender ein. ^EStudienteilnehmer und ^EAnwender werden unter ^{ES}A zusammengefasst.

6.2 Darstellung und Diskussion der Studienergebnisse

Dieses Kapitel legt die Ergebnisse der Studie und der zusätzlichen Anwendung von *BIOscrabble* dar. Nach einer allgemeinen Darstellung und Diskussion der Studienergebnisse werden die Ergebnisse für die *BIOscrabble*-Bausteine *Suchwortarten*, *Suchwortvariationen* und *Biologische Publikationen* dargestellt und diskutiert.

Abbildung 6-1 zeigt beispielhaft die Kurzfassung eines Studienergebnisses für das technische Problem der Spannungsreduzierung von den nützlichen Suchworten über die Inspirationen aus den nützlichen biologischen Publikationen bis zur bionischen Lösungsidee.

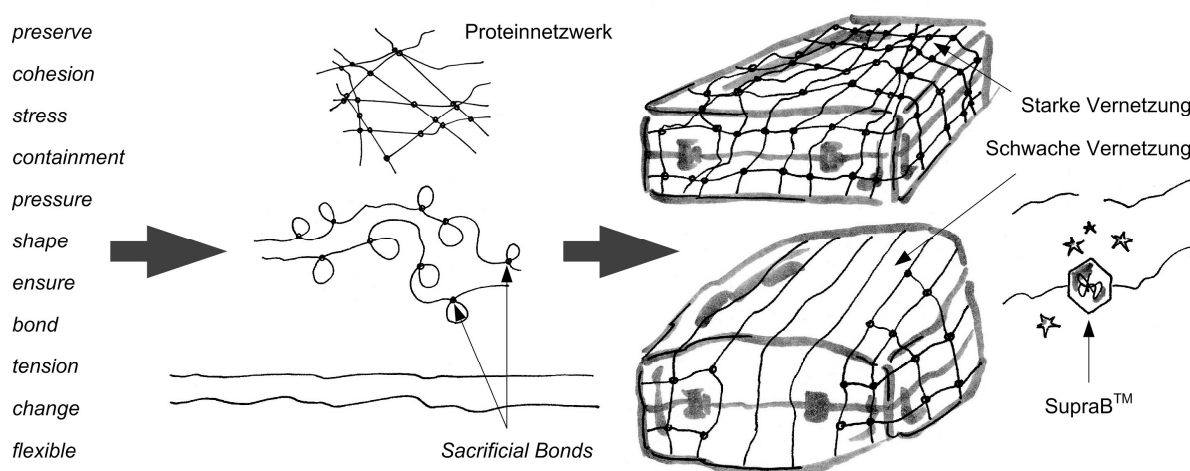


Abbildung 6-1: Beispielergebnis eines ^EStudienteilnehmers zu dem technischen Problem Spannungsreduzierung

Zu beachten ist:

Es werden alle Worte als Suchworte bezeichnet, die für die Lösungssuche mit *BIOscrabble* genutzt wurden. Dazu gehören Suchworte, die keine Variation eines anderen Suchwortes sind, und Suchworte, die eine Variation eines anderen Suchwortes sind. Ist eine Unterscheidung zwischen diesen relevant, werden nicht variierte Suchworte als nicht variiert und variierte Suchworte als variiert bzw. Suchwortvariationen gekennzeichnet.

Einige der dargelegten Ergebnisse basieren auf den Kommentaren einzelner ^ES^EA. Dies bedeutet nicht zwingend, dass kein anderer ^ES^EA die in einem Kommentar dargelegte Ansicht teilt. Möglicherweise wurde sie nicht dokumentiert, weil sie z. B. für trivial oder unwichtig gehalten wurde. Unabhängig davon liefern auch die Ansichten einzelner ^ES^EA wertvolle Hinweise auf Potential für Verbesserungen in *BIOscrabble*.

6.2.1 Allgemeine Ergebnisse

Dieses Kapitel illustriert und diskutiert die Ergebnisse, die nicht speziell einem der *BIOscrabble*-Bausteine *Suchwortarten*, *Suchwortvariationen* und *Biologische Publikationen* zuzuordnen sind.

Darstellung der Ergebnisse

Die aus der tabellarischen Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer sowie den Kommentaren der ^ES^EA übernommenen bzw. gewonnenen allgemeinen Ergebnisse zu den für die Suche verwendeten Suchworten und Suchanfragen sowie den Suchergebnissen sind im Folgenden dargestellt.

Suchworte

Abbildung 6-2 gibt einen Überblick über die Kommentare der ^ES^EA zu Suchworten.

| ^E S ^E A mit Kommentaren zu Suchworten | |
|--|---|
| Ergänzung der Suchworte während der Lösungssuche | |
| Worte aus <i>Abstracts</i> gefundener Publikationen | 7 |
| <i>MeSH Terms</i> aus <i>PubMed</i> | 4 |
| Worte aus der <i>PubMed-Index List</i> | 1 |
| Namen der Autoren gefundener Publikationen | 1 |
| Worte aus den gefundenen Publikationen ähnlichen Publikationen | 1 |
| Priorisierung der Suchworte vor bzw. während der Lösungssuche | |
| mehrstufige Farbkodierung | 2 |
| Anforderungsgewichtung | 1 |

Abbildung 6-2: Allgemeine Kommentare der ^ES^EA zu Suchworten

Neun³⁰ der 13 ^ES^EA ergänzten die vor der Lösungssuche generierten Suchworte während der Lösungssuche folgendermaßen:

- **Sieben** ^EStudienteilnehmer nutzten als Ergänzung Worte aus den *Abstracts* der Publikationen, die aus ihren Suchen resultierten.
- **Vier** ^ES^EA nutzten als Ergänzung die in *PubMed* angebotenen *MeSH Terms*. *MeSH Terms* sind Begriffe, welche Publikationen entsprechend ihrer Inhalte zugeordnet werden. Über *MeSH Terms* können Publikationen zu bestimmten Inhalten unabhängig von der Wortwahl der Autoren gefunden werden. *MeSH Terms* können bei Nutzung des *PubMed Advanced Search Builders* in einem Drop-down-Menü angewählt werden (National Center for Biotechnology Information o. J.a). Ein ^EStudienteilnehmer sah den Vorteil der Nutzung von *MeSH Terms* in einer einfachen Ein- und Ausgrenzung von Publikationen zu bestimmten Inhalten. Ein Zweiter sah einen Vorteil in der Reduzierung der aus einer Suche resultierenden Publikationen, die die Suchworte in unbedeutender

³⁰ Hier und im Folgenden gilt: Es ist möglich, dass es für einen ^ES^EA mehr als einen Kommentar zu einem Thema gibt; die über der Liste der Kommentare stehenden Gesamtzahlen (hier: neun) können kleiner sein als die Summe der Einzelkommentare (hier: 14).

Form enthalten (z. B. als Eigenname). Nachteile der Nutzung von *MeSH Terms* sah ein ^EStudienteilnehmer in dem Verlust von neuen Publikationen, welchen in *PubMed* noch kein *MeSH Term* zugeordnet wurde.

- **Ein** ^EStudienteilnehmer nutzte als Ergänzung Worte oder Begriffe aus der im *PubMed Advanced Search Builder* angebotenen *Index List* (Indexliste) – eine Liste mit aus einem Drop-down-Menü wählbaren und bestimmten Suchmodi, wie Suche in *Title* (Titel) oder *Abstract*, zugeordneten Begriffen (National Center for Biotechnology Information o. J.a).
- **Ein** ^EStudienteilnehmer nutzte als Ergänzung die Namen der Autoren nützlicher biologischer Publikationen.
- **Ein** ^EAnwender nutzte als Ergänzung Worte aus Publikationen, die den nützlichen Publikationen ähneln (in *PubMed* zu finden unter *Similar Articles*) (National Center for Biotechnology Information o. J.a).

Vier der 13 ^{ES}^EA priorisierten die generierten Suchworte vor oder während der Lösungssuche. Drei ^{ES}^EA machten eine Angabe zur Art der Priorisierung.

- **Zwei** ^{ES}^EA nutzten eine mehrstufige Farbcodierung, um während der Lösungssuche nützliche von nicht nützlichen Suchworten unterscheiden zu können.
- **Ein** ^EStudienteilnehmer nutzte eine vorher erstellte Gewichtung der Anforderungen an die zu entwickelnde bionische Lösung, um vor der Lösungssuche Suchworte für die Suche zu priorisieren. Die Priorisierung wurde während der Suche gemäß der Nützlichkeit der Suchworte für die Suche angepasst.

Suchanfragen

Abbildung 6-3 gibt einen Überblick über die Kommentare der ^{ES}^EA zu Suchanfragen.

| ^{ES} ^E A mit Kommentaren zu Suchanfragen | |
|--|---|
| Spezifität der Suchanfragen | |
| Spezifische Suchworte | 3 |
| Unspezifische Suchworte | 1 |
| Boolesche Operatoren AND und OR | 5 |
| Boolescher Operator NOT | 4 |
| Anführungszeichen | 1 |

Abbildung 6-3: Allgemeine Kommentare der ^{ES}^EA zu Suchanfragen

Fünf ^{ES}^EA fanden es sinnvoll, möglichst spezifische Suchanfragen für die Lösungssuche zu nutzen. Die Spezifität einer Suchanfrage kann über die Suchworte selbst oder die Art der Verknüpfung der Suchworte beeinflusst werden.

Drei ^ES^EA empfahlen die Nutzung spezifischer Suchworte.

- Ein ^EStudienteilnehmer sah für das Finden nützlicher Publikationen einen Vorteil in der Nutzung spezifischer Suchworte im Allgemeinen.
- Ein ^EStudienteilnehmer forderte mindestens ein spezifisches Substantiv pro Suchanfrage.
- Ein ^EAnwender erhielt, im Vergleich zu einer Suche mit anderen Suchanfragen, nützlichere Publikationen, wenn das Team (Einführung Kapitel 6.2) mit biologischen Substantiven (z. B. *animal*, *plant*, etc.) suchte.

Ein ^EStudienteilnehmer empfahl ein Suchen mit unspezifischen Suchworten, d. h. Suchworten mit unbestimmter Bedeutung, nur, wenn diese in einer Suchanfrage mit Suchworten kombiniert werden, die bereits zu nützlichen Publikationen führten.

Fünf ^ES^EA kommentierten die Verknüpfung von Suchworten einer Suchanfrage mit den Booleschen Operatoren *AND* und *OR*. Die Kommentare lieferten folgende Ergebnisse:

- Ein ^EStudienteilnehmer gab an, bessere Suchergebnisse in Form biologischer Publikationen mit langen Suchanfragen erhalten zu haben. Die Suchworte dieser Suchanfragen wurden über *AND* verknüpft, d. h. mussten alle in den Suchergebnissen enthalten sein.
- Ein ^EStudienteilnehmer empfahl, mindestens zwei Suchworte innerhalb einer Suchanfrage mit *AND* zu verknüpfen, Suchworte mit unterschiedlicher Bedeutung mit *AND* zu verknüpfen und Suchworte, die während der Lösungssuche Publikationen entnommen wurden, mit *AND* anzuknüpfen. Er gab an, bei der Nutzung von *AND* mehr Erfolg bei der Lösungssuche gehabt zu haben als bei der Nutzung von *OR*.
- Ein ^EStudienteilnehmer stellte bei der Nutzung von *AND* neben einer Reduzierung der aus einer Suche resultierenden Publikationen auch eine Abnahme der Nützlichkeit der Publikationen fest.
- Ein ^EStudienteilnehmer empfahl *OR* zur Verknüpfung von *AND*-Verknüpfungen ((*x AND y*) *OR* (*a AND b*)).
- Ein ^EStudienteilnehmer empfahl, *Wortstammbasierte Variationen* mit *OR* zu verknüpfen. Die Suchanfrage bleibt so inhaltlich gleich, die resultierenden Publikationen werden aber um solche erweitert, die z. B. *movement* anstelle von *move* verwenden.

Einen Hinweis auf einen höheren Erfolg (in Form von resultierenden nützlichen biologischen Publikationen) des Booleschen Operators *AND* im Vergleich zu *OR* liefern die nützlichen Suchanfragen der 11 ^EStudienteilnehmer. *AND* ist in 44 der 46 nützlichen Suchanfragen mit einem Booleschen Operator enthalten, *OR* nur in 13 (Kapitel 14.4 des Anhangs).

Vier ^EStudienteilnehmer fanden die Nutzung des Booleschen Operators *NOT* sinnvoll, um die Anzahl der aus einer Suche resultierenden Publikationen durch ein gezieltes Eliminieren von Publikationen zu reduzieren. Ein ^EStudienteilnehmer teilte diese Ansicht nicht.

Ein ^EStudienteilnehmer empfahl die Nutzung von *NOT*, wenn in den resultierenden Publikationen ein Suchwort häufig in unbedeutender Form (z. B. als Eigenname) enthalten war. Er schlug folgenden Umgang mit *NOT* vor:

1. Die *Abstracts* der aus einer Suche resultierenden Publikationen werden nacheinander gelesen.
2. Nicht nützliche Publikationen werden über in ihnen enthaltene, für sie charakteristische Worte eliminiert, indem diese Worte mit *NOT* an die ursprüngliche Suchanfrage angeknüpft werden (z. B. x *AND* y *NOT* charakteristisches Wort).
3. Im Zuge der Eliminierung nicht nützlicher Publikationen dürfen keine nützlichen, d. h. vorher als nützlich eingestuften, Publikationen eliminiert werden. Gegebenenfalls muss die Suchanfrage (x *AND* y *NOT* charakteristisches Wort) angepasst werden.

Eine Reduzierung der Suchergebnisse durch eine derartige Nutzung des Booleschen Operators *NOT* reduzierte laut des ^EStudienteilnehmers dessen Gefahrenpotential nützliche Publikationen zu eliminieren.

Neben Booleschen Operatoren wurden von den ^EStudienteilnehmern in den zur Suche genutzten Suchanfragen Anführungszeichen verwendet. Das Setzen mehrerer Suchworte in Anführungszeichen führt in einer Suche mit *PubMed* dazu, dass diese Worte in den resultierenden Publikationen in Folge vorkommen (National Center for Biotechnology Information o. J.a). Verwendet wurden Anführungszeichen in elf der 59 nützlichen Suchanfragen, davon fünfmal anstelle Boolescher Operatoren (Kapitel 14.4 des Anhangs).

Ein ^EStudienteilnehmer sah den Vorteil des Setzens von Anführungszeichen in einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass die in Anführungszeichen gesetzten Suchworte im gewünschten Zusammenhang vorkommen. Mit *water resistance* werden z. B. wahrscheinlicher Publikationen gefunden, in denen es um Wasserfestigkeit geht als mit *water resistance*. In Fall von *water resistance* werden alle Publikationen gefunden, in denen an irgendeiner Stelle *water* und an irgendeiner Stelle *resistance* vorkommt. Einen Nachteil des Setzens von Anführungszeichen sah er in einer Eliminierung potentiell nützlicher Publikationen, die die Suchworte nicht in angegebener Folge, aber dennoch in gewünschtem Zusammenhang enthalten. Darunter fallen Publikationen, die z. B. *resistant to water* enthalten.

Unabhängig von der Spezifität von Suchworten und -anfragen waren zwei ^EStudienteilnehmer der Auffassung, dass das eigene biologische Wissen sowie die eigene Kenntnis der biologischen Fachterminologie die Nützlichkeit von Suchworten und Suchanfragen beeinflusst. Aus den Kommentaren der ^EStudienteilnehmer geht hervor, dass mehr Wissen bzw. eine größere Kenntnis die Nützlichkeit steigert.

Suchergebnisse

Insgesamt wurden von den ^EStudienteilnehmern 1.083 Suchen nach biologischen Publikationen mit unterschiedlichen Suchanfragen in *PubMed* durchgeführt.

Die Suchanfragen, zu welchen mindestens eine Publikation untersucht wurde, ergaben 671.203 biologische Publikationen. Von diesen Publikationen wurden von den ^EStudienteilnehmern 4.351 durchgesehen. Eine Publikation gilt als durchgesehen, wenn mindestens ihr Titel, im Idealfall Titel und *Abstract* gelesen wurden. Untersucht wurden 255 der durchgesehenen Publikationen. Eine Publikation gilt als untersucht, wenn mindestens der *Abstract*, im Idealfall die

ganze Publikation gelesen wurde³¹. 90 der untersuchten Publikationen waren nützliche Publikationen, die zu 38 bionischen Lösungsideen führten, wobei in einigen Fällen eine bionische Lösungsidee aus mehr als einer biologischen Publikation resultierte und eine biologische Publikation mehr als eine bionische Lösungsidee inspirierte.

Abbildung 6-4 zeigt, dass von den ^EStudienteilnehmern zwischen neun und 441 Suchen durchgeführt wurden, um nützliche biologische Publikationen zu finden. Für die Entwicklung bionischer Lösungsideen wurden zwischen zwei und 36 biologische Publikationen genutzt. Die ^EStudienteilnehmer entwickelten zwischen einer und sieben bionischen Lösungsideen.

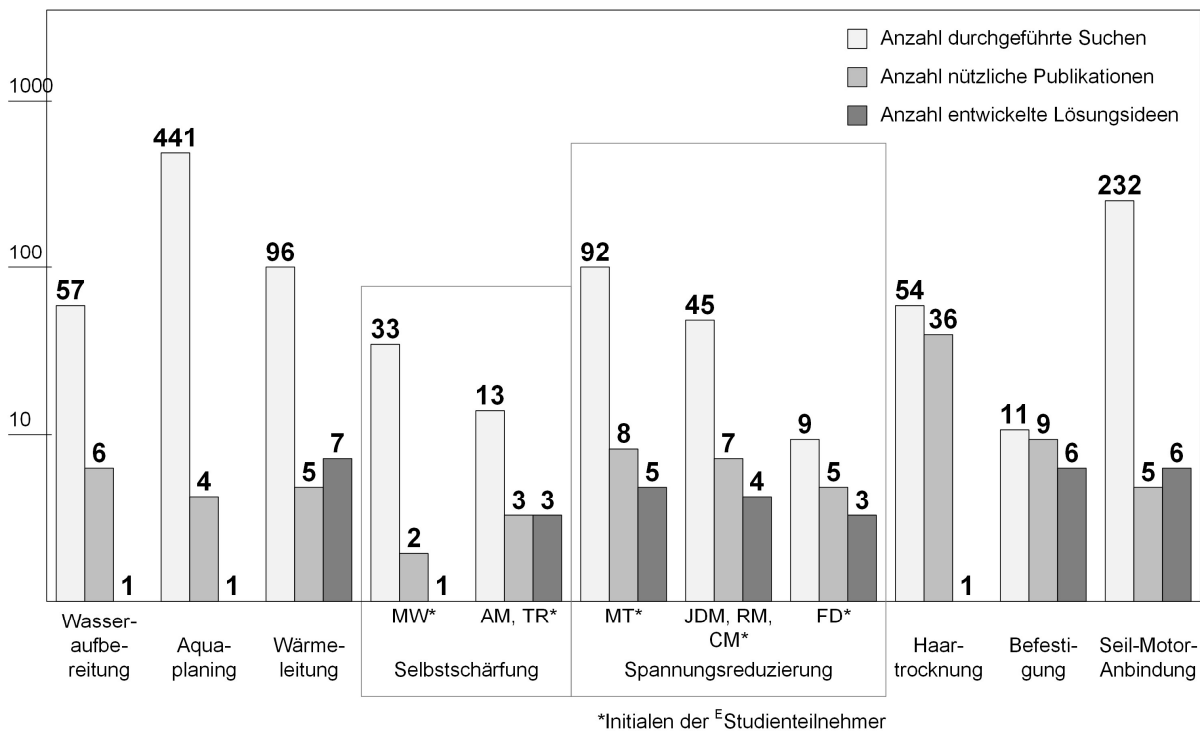


Abbildung 6-4: Übersicht über die Anzahl durchgeführter Suchen, nützlicher Publikationen und entwickelter Lösungsideen getrennt für bearbeitete technische Probleme und ^EStudienteilnehmer

Abbildung 6-5, Abbildung 6-6 und Abbildung 6-7 sind Übersichten über die bionischen Lösungsideen der ^EStudienteilnehmer inklusive dazugehöriger Inspiration aus *PubMed* für die bearbeiteten technischen Probleme. Beschreibungen von technischen Problemen, Lösungsideen und Inspirationen sind Kapitel 14.5 des Anhangs zu entnehmen.

³¹ Was durchgesehen wurde (Titel oder *Abstract* oder beides) bzw. untersucht wurde (*Abstract* oder ganze Publikation oder beides) lag im Ermessen der ^EStudienteilnehmer.

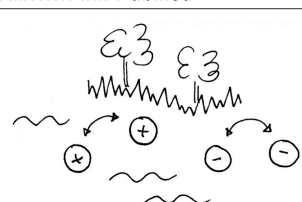
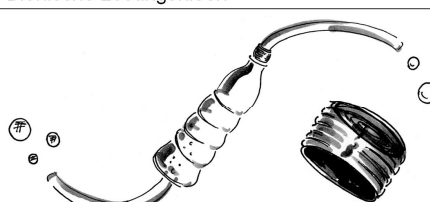

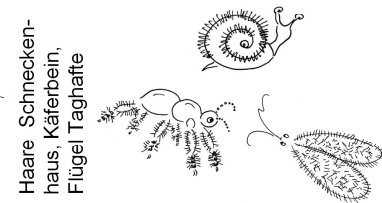
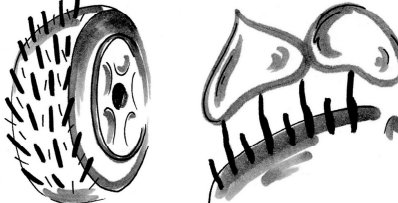




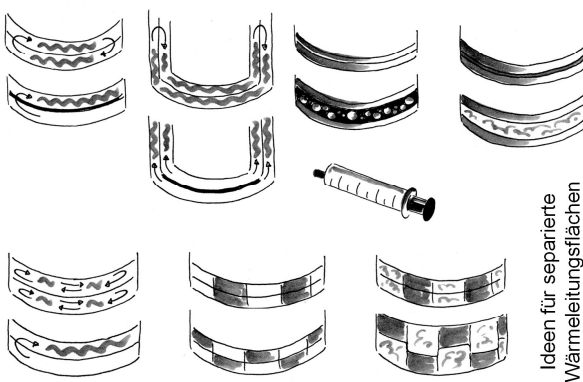
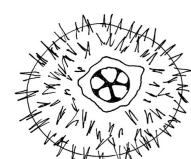
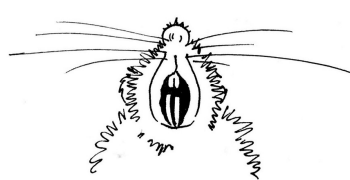
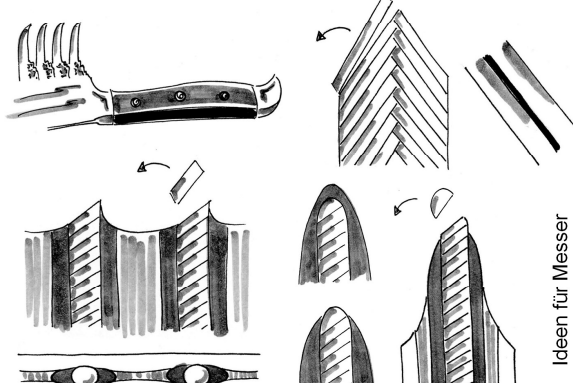
| | Inspirationen aus <i>PubMed</i> | Bionische Lösungsideen |
|--------------------|--|--|
| Wasseraufbereitung | <p>Feuchtbiotop</p>  |  <p>Wasseraufbereiter mit Ionentauscher</p> |
| Aquaplaning | <p>Fangfäden Spinne</p>  <p>Haare Schneckenhaus, Käferbein, Flügel Taghaffe</p>  |  <p>Reifen mit „Borsten“</p> |
| Wärmeleitung | <p>Blutgefäße Dickschmabellumme</p>  <p>Brustfedern Stare</p>  <p>Gegenstromwärmetauscher Seekuh, Thunfisch</p>  <p>Seide Goldene Seidenspinne</p>  |  <p>Ideen für separate Wärmeleitungsflächen</p> |
| Selbstschärfung | <p>Zähne Seeigel</p>  <p>Schneidezähne Maus</p>  |  <p>Ideen für Messer</p> |

Abbildung 6-5: Übersicht über die bionischen Lösungsideen der ^EStudienteilnehmer für die technischen Probleme Wasseraufbereitung, Aquaplaning, Wärmeleitung und Selbstschärfung inklusive Inspiration³²

³² Für Abbildung 6-5, Abbildung 6-6 und Abbildung 6-7 gilt: Die Quellenangaben der einzelnen Zeichnungen sind, wo vorhanden, Kapitel 14.5 des Anhangs zu entnehmen.

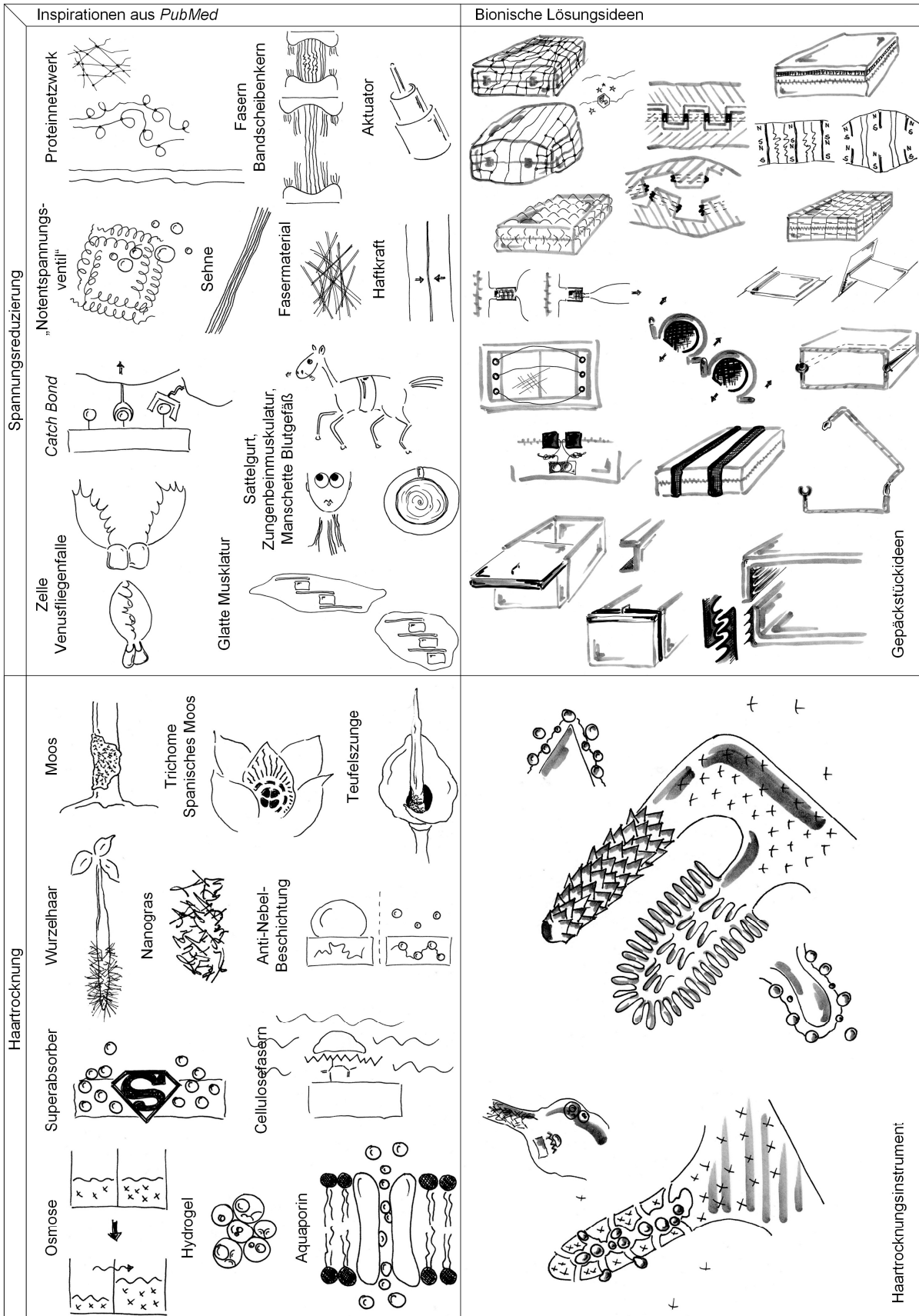


Abbildung 6-6: Übersicht über die bionischen Lösungsideen der ^EStudienteilnehmer für die technischen Probleme Spannungsreduzierung und Haartrocknung inklusive Inspiration







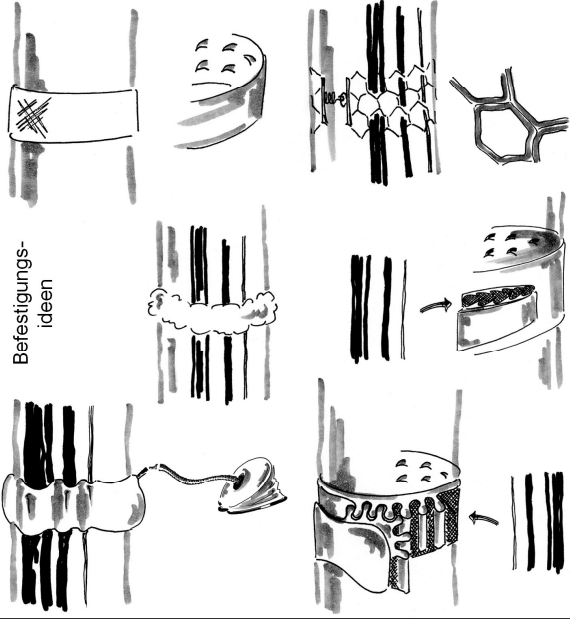
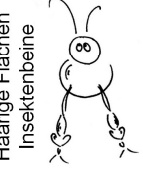


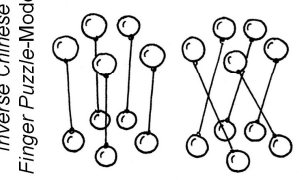
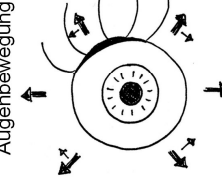
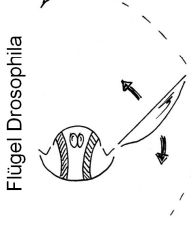
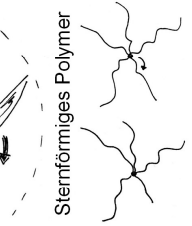
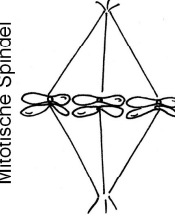
| | Inspirationen aus PubMed | | Bionische Lösungsideen |
|--|---|--|---|
| <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Befestigung</p> | <p>Schaumverband</p>  <p>Kohlenstoff-nanoröhren</p>  <p>Haftende Bereiche Kannenpflanze</p>  | <p>Spinnseide</p>  <p>Bioplastik</p>  <p>Haftende Bereiche Kannenpflanze</p>  | <p>Befestigungs-ideen</p>  |
| | <p>Haarige Flächen Insektenbeine</p>  <p>Dornen Gottesanbeterin</p>  <p>Flügelarterterung</p>  | <p>Inverse Chinese Finger Puzzle-Modell</p>  <p>Augenbewegung</p>  | <p>Seil-Motor-Anbindung</p> <p>Flügel Drosophila</p>  <p>Sternförmiges Polymer</p>  <p>Mitotische Spindel</p>  |

Abbildung 6-7: Übersicht über die bionischen Lösungsideen der ^EStudienteilnehmer für die technischen Probleme Befestigung und Seil-Motor-Anbindung inklusive Inspiration

Diskussion der Ergebnisse

Die Tatsache, dass ein Großteil der ^ES^EA die vor der Lösungssuche generierten Suchworte während der Suche ergänzte, spricht für eine kontinuierliche Suchwortgenerierung. Als Ergänzung Worte aus PubMed – entweder aus nützlichen bzw. diesen ähnlichen Publikationen oder aus der im PubMed Advanced Search Builder angebotenen Liste an MeSH Terms bzw. der Index

List – zu nutzen ist sinnvoll, birgt aber das Risiko einer möglichen Fixierung auf bestimmte Themen oder Suchworte. Eine solche Fixierung kann hinderlich bei der Entwicklung konzeptioneller Lösungen bzw. Lösungsideen sein (Jansson und Smith 1991).

Eine Möglichkeit, eine hohe Anzahl generierter Suchworte handhabbar zu machen, ohne sich auf bestimmte Themen oder Suchworte festzulegen, ist, die generierten Suchworte im Verlauf der Suche gemäß ihrer Nützlichkeit zu priorisieren. Der Vorteil einer solchen Priorisierung ist eine effektivere (im Sinne des Findens nützlicher biologischer Publikationen) und effizientere (im Sinne eines schnelleren Findens nützlicher biologischer Publikationen) Nutzung der Suchworte. Bereits als nicht nützlich eingestufte Suchworte werden nicht aufgrund eines Vergessens ihres geringen Nutzens wieder für die Lösungssuche verwendet. Durch eine zu schnelle oder vor der Lösungssuche vorgenommene Priorisierung besteht allerdings auch hier die Gefahr der Fixierung auf bestimmte Suchworte oder Themen.

Ähnliches gilt für eine Suche mit spezifischen oder biologischen Substantiven. Laut Chiu und Shu (2004, S. 171) ist die Gefahr einer Suche mit Substantiven, die Suche in eine bereits vorgedachte Richtung zu lenken (auch Kapitel 5.1.2). Gegen eine Nutzung spezifischer Suchworte, die keine Substantive sind, wie Verben, spricht nichts.

Insgesamt empfiehlt es sich, die Suchworte so lange wie möglich so verschieden wie möglich zu halten, um den in *PubMed* hinterlegten Fundus an potentiellen biologischen Lösungen für das betrachtete technische Problem ausschöpfen zu können.

Die tabellarische Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer und die Kommentare der ^{ES}^EA weisen darauf hin, dass die Nutzung des Booleschen Operators *AND* in den Suchanfragen das Finden nützlicher biologischer Publikationen begünstigt. Je mehr *AND*-Verknüpfungen in einer Suchanfrage genutzt werden, desto spezifischer ist die Suchanfrage. Bei den über 25 Millionen Referenzen auf biowissenschaftliche Publikationen in *PubMed* ist ein Einschränken der Anzahl der aus einer Suche resultierenden Publikationen durch eine Spezifizierung der Suchanfrage durchaus sinnvoll. Die nützliche Suchanfrage *walk AND water* z. B. lieferte am 18.08.2015 1494 Publikationen. Wurde *AND* durch *OR* ersetzt, lieferte die Suchanfrage 790157 Publikationen. Welcher Spezifizierungsgrad der Suchanfrage für eine Suche angebracht ist, entscheidet letztlich der Suchende. Prinzipiell gilt: je spezifischer die Suchanfrage, desto eingeschränkter der aus der Suche resultierende Lösungsraum. Anzustreben ist ein Mittelweg zwischen einer handhabbaren Anzahl Publikationen und einem möglichst offenen Lösungsraum.

Selbiges gilt für das Spezifizieren einer Suchanfrage durch den Booleschen Operator *NOT* oder Anführungszeichen. Der von einem der ^EStudienteilnehmer vorgeschlagene Umgang mit *NOT* (Kapitel 6.2.1, Suchanfragen) ist z. B. eine sehr gute Möglichkeit, eine bereits durchgeführte Suchanfrage zu spezifizieren und gleichzeitig möglichst wenige potentiell nützliche Publikationen zu verlieren. Zusätzlich wird das Lesen der *Abstracts* einer größeren Anzahl potentiell nützlicher Publikationen in kürzerer Zeit ermöglicht, da die für das Lesen nicht nützlicher Publikationen aufgewendete Zeit durch deren Eliminierung gespart wird.

Der Boolesche Operator *OR* eignet sich gut, um Worte gleicher Bedeutung zu verknüpfen. Die Gefahr, aufgrund unterschiedlicher Wortwahlen in Suchanfrage und Publikation potentiell nützliche Publikationen zu verlieren, wird so reduziert.

Eine Steigerung der Nützlichkeit von Suchworten und Suchanfragen durch eigenes biologisches Wissen sowie eigene Kenntnisse der biologischen Fachterminologie, ist kritisch zu betrachten. Die Nützlichkeit im Sinne von resultierenden nützlichen biologischen Publikationen wird sehr wahrscheinlich erhöht. Durch ein gezieltes Suchen nach biologischen Systemen mit biologischen Fachworten gehen allerdings biologische Lösungen verloren, die der Suchende nicht bereits vorgedacht hat (vgl. Vincent et al. (2006, S. 479)). Da dies eine lösungsneutrale Suche unmöglich macht, ist von der Nutzung biologischer Systeme oder Fachworte als Suchworte abzuraten.

Die getrennte Betrachtung der Suchergebnisse der ^EStudienteilnehmer (Abbildung 6-4) zeigt, dass – zumindest für die Suchanfragen, zu welchen mindestens eine Publikation untersucht wurde – die Anzahl der nützlichen Publikationen nicht mit der Anzahl der durchgeführten Suchen zusammenhängt. Gründe hierfür können sein:

Erstens, bei einer höheren Anzahl durchgeführter Suchen werden pro Suche weniger biologische Publikationen durchgesehen und untersucht als bei einer niedrigeren Anzahl durchgeführter Suchen.

Zweitens, bei einer höheren Anzahl durchgeführter Suchen resultieren die Suchanfragen in weniger biologischen Publikationen als bei einer niedrigeren Anzahl durchgeführter Suchen.

In beiden Fällen wäre die Anzahl nutzbarer, und damit potentiell nützlicher, Publikationen ähnlich. Abbildung 6-8 zeigt, dass dies nicht zutrifft.

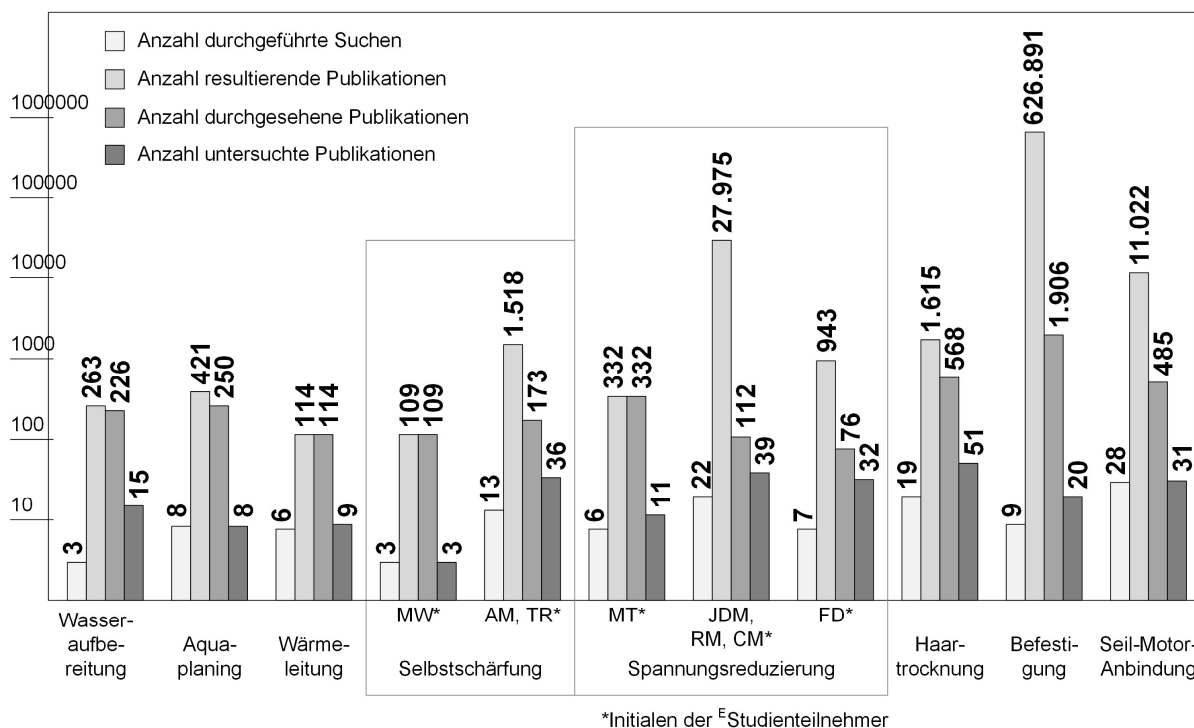


Abbildung 6-8: Übersicht über die Anzahl durchgeführter Suchen und resultierender, durchgesehener sowie untersuchter Publikationen getrennt für bearbeitete technische Probleme und ^EStudienteilnehmer

Ein dritter möglicher Grund ist, dass es Suchstrategien gibt, die schneller, d. h. über weniger Suchen, zu nützlichen biologischen Publikationen führen als andere. Eine mögliche solche Suchstrategie ist das schrittweise Einschränken der aus einer Suche resultierenden Publikationen durch *NOT* (vgl. vorgeschlagener Umgang mit *NOT*, Kapitel 6.2.1, Suchanfragen). Der ^EStudienteilnehmer (FD), der diese Strategie anwendete, entwickelte seine bionischen Lösungsideen, verglichen mit den übrigen ^EStudienteilnehmern basierend auf der geringsten Anzahl an Lösungssuchen.

Ein Vergleich der Studienergebnisse für die technischen Probleme, die mehrmals bearbeitet wurden (Selbtschärfung und Spannungsreduzierung), weist darauf hin, dass das bearbeitete technische Problem nicht der Grund ist. Die ^EStudienteilnehmer kamen zwar in beiden Fällen auf eine ähnliche Anzahl nützlicher biologischer Publikationen und bionischer Lösungsideen, die Anzahl der dafür durchgeführten Suchen variierte aber stark (Abbildung 6-4).

Auch zwischen der Anzahl der nützlichen Publikationen und der Anzahl der entwickelten bionischen Lösungsideen besteht kein Zusammenhang. Ein Grund hierfür ist, dass je nach nützlicher biologischer Publikation und ^EStudienteilnehmer eine Publikation mehrere bionische Lösungsideen inspirieren kann oder eine bionische Lösungsidee von mehreren Publikationen inspiriert sein kann.

Insgesamt lässt sich Folgendes festhalten:

Eine kontinuierliche Suchwortgenerierung sowie -priorisierung während der Lösungssuche scheint sinnvoll, wenn eine Fixierung auf bestimmte Suchworte oder Themen vermieden wird. Dies gilt auch für das Spezifizieren von Suchanfragen. Zwischen der Anzahl der nützlichen Publikationen und der Anzahl der durchgeführten Suchen oder der Anzahl entwickelter Lösungsideen besteht in dieser Studie kein Zusammenhang.

6.2.2 Ergebnisse für den *BIOscrabble*-Baustein Suchwortarten

Dieses Kapitel illustriert und diskutiert die Ergebnisse für den *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortarten*.

Vor der Auswertung des Untersuchungsmaterials überprüfte die Studienleiterin die Zuordnung der Suchworte zu den Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* durch die ^EStudienteilnehmer und ordnete diese gegebenenfalls neu zu. Durch eine einheitliche Zuordnung der Suchworte wird eine Verfälschung der Studienergebnisse durch eine durch die ^EStudienteilnehmer falsch vorgenommene Suchwortzuordnung vermieden. Eine Neuordnung war in nur wenigen Fällen notwendig. Die Problematik der Suchwortzuordnung wird nachfolgend aufgegriffen.

Suchworte, die keiner der drei Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* zuzuordnen sind, laufen im Folgenden unter der Suchwortart *Andere*.

Darstellung der Ergebnisse

Die aus der tabellarischen Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer sowie den Kommentaren der ^ES^EA übernommenen bzw. gewonnenen suchwortartspezifischen Ergebnisse zu den für die Suche verwendeten Suchworten und Suchanfragen sowie den Suchergebnissen sind im Folgenden dargestellt.

Suchworte

Abbildung 6-9 gibt einen Überblick über die Kommentare der ^ES^EA zu Suchwortarten.

| ^E S ^E A mit Kommentaren zu Suchwortarten | |
|--|---|
| Generierung von Suchworten zu Suchwortarten aus | |
| Problembeschreibung/ Hilfestellung von Eder & Hosnedl | 2 |
| Anforderungsliste | 5 |
| Aufgabenstellung | 2 |
| Leitfragen zu Suchwortarten | 2 |
| <i>Brainstorming</i> | 2 |
| <i>Concept Maps</i> | 1 |
| Funktionsmodell | 1 |
| <i>KomBi-Modellierung</i> | 1 |
| Umfrage | 1 |
| Literatur und Internetbeiträge | 1 |
| Kataloge von Hill und <i>Assoziationsliste</i> von Gramann | 1 |
| Selbst gewählte Suchwortarten | |
| <i>Funktionsträger</i> | 2 |
| <i>Technische Analogien</i> | 1 |
| <i>Biologische Analogien</i> | 1 |
| Nützlichkeit der Suchwortarten und Umgang mit diesen | |
| <i>Umwelt</i> | 4 |
| <i>Funktion</i> | 1 |
| <i>Eigenschaft</i> | 1 |
| <i>Funktion, Eigenschaft, Umwelt</i> | 1 |

Abbildung 6-9: Kommentare der ^ES^EA zu Suchworten verschiedener Suchwortarten

BIOscrabble empfiehlt, die Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* aus der Beschreibung des betrachteten technischen Problems zu extrahieren. Für die Suchwortart *Eigenschaft* geben Eder und Hosnedl (2007, S. 310, 313) – u. a. für die für *BIOscrabble* interessanten Eigenschaftsklassen (Kapitel 5.1.2) – Hilfestellung für die Beschreibung eines technischen Systems in Form von Leitfragen und Beispielen.

Zwei^{ES^EA} folgten der Empfehlung und extrahierten die Suchworte aus der Problembeschreibung bzw. aus der Beschreibung des weiterzuentwickelnden technischen Systems. Ein ^EStudienteilnehmer nutzte die oben genannte Hilfestellung von Eder und Hosnedl (2007, S. 310, 313).

Die übrigen ^{ES^EA} generierten die Suchworte folgendermaßen:

- **Fünf**^{ES^EA} extrahierten die Suchworte aus einer für die zu entwickelnde bionische Lösung durchgeführten Anforderungsanalyse bzw. erstellten Anforderungsliste (Definitionen einer Anforderung und einer Anforderungsliste geben Ponn und Lindemann (2011, S. 428)). Ein ^EStudienteilnehmer nutzte hierfür vorwiegend Grund- und Leistungsmerkmale nach Kano (Matzler et al. 2004, S. 20). Ihm zufolge lieferten diese Merkmale sehr gute Suchworte für die Suche nach einer biologischen Lösung für das bearbeitete technische Problem.
- **Zwei**^{ES^EA} generierten die Suchworte auf Basis der von der Studienleiterin ausgegebenen Aufgabenstellung.
- **Zwei**^{ES^EA} formulierten Leitfragen zu den in *BIOscrabble* empfohlenen Suchwortarten und nutzten diese zur Suchwortgenerierung.
- **Zwei**^{ES^EA} generierten die Suchworte der Suchwortart *Funktion* und der Suchwortart *Eigenschaft* mittels *Brainstorming*.
- **Ein**^{ES^EA} extrahierte die Suchworte aus *Concept Maps*, die er zu dem bearbeiteten technischen Problem nach Novak und Cañas (2008) erstellte. Ihm zufolge lieferten die *Concept Maps* nützlichere Suchworte als Aufgabenstellung und Anforderungsliste.
- **Ein**^{ES^EA} extrahierte die Suchworte aus einem für das bearbeitete technische Problem erstellten Funktionsmodell (eine Definition eines Funktionsmodells geben Ponn und Lindemann (2011, S. 435)). Neben Suchworten der Suchwortart *Funktion*, die laut des ^EStudienteilnehmers wenig spezifisch waren, wurden auch Suchworte der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt* extrahiert. Für eine Extraktion von Suchworten der Suchwortart *Umwelt* war ein Verschieben der Systemgrenze notwendig.
- **Ein**^{ES^EA} extrahierte die Suchworte aus einer – für eine Bionikkommunikationsplattform (*KomBi*) entwickelte – Modellierung des bearbeiteten technischen Problems (Hashemi Farzaneh et al. 2015).
- **Ein**^{ES^EA} nutzte zur Suchwortgenerierung eine am Flughafen München durchgeführte Umfrage zu Suchworten zu dem bearbeiteten technischen Problem.
- **Ein**^{ES^EA} nutzte zur Generierung von Suchworten der Suchwortart *Funktion* Literatur oder Internetbeiträge.
- **Ein**^{ES^EA} nutzte zur Generierung von Suchworten der Suchwortart *Funktion* die Grundfunktionskataloge zur Lösungsfindung von Hill (1997, S. 122–187) und die *Assoziationsliste* von Gramann (2004, S. 132–146). Beides wurde für die Bionik entwickelt und enthält technische Funktionen, denen biologische Systeme zugeordnet sind.

Einige der Suchworte wurden von drei ^EStudienteilnehmern gezielt zu folgenden selbst gewählten Suchwortarten generiert:

- *Funktionsträger* (**zwei** ^EStudienteilnehmer): Ein Funktionsträger ist ein „Systemelement [...], das eine bestimmte Funktion in einem System übernimmt.“ (Ponn und Lindemann 2011, S. 436). Beispiele sind *cable* oder *shaft*.
- *Technische Analogien* (**ein** ^EStudienteilnehmer): Beispiele sind *closure mechanism* oder *vessel* für das technische Problem Spannungsreduzierung.
- *Biologische Analogien* (**ein** ^EStudienteilnehmer): Suchworte dieser Suchwortart wurden über eine Befragung von Biologen ermittelt. Beispiele sind *wing* oder *sphincter* für das technische Problem Spannungsreduzierung.

Weder Suchworte der Suchwortart *Biologische Analogien* noch der Suchwortart *Technische Analogien* waren in einer der nützlichen biologischen Publikationen der ^EStudienteilnehmer enthalten. Suchworte der Suchwortart *Funktionsträger* waren in vier von fünf nützlichen biologischen Publikationen eines Studienteilnehmers enthalten.

Abgesehen von der Generierung der Suchworte und der zusätzlichen Suchwortarten kommentierten die ^ES^EA den Nutzen der Suchwortarten und gaben Hinweise zum Umgang mit ihnen.

- **Vier** ^ES^EA fanden Suchworte der Suchwortart *Umwelt* nützlich. Zwei ^ES^EA besonders die, die die nähere Umwelt der zu entwickelnden bionischen Lösung beschreiben – wie bei dem technischen Problem der Seil-Motor-Anbindung die um Seil und Motor liegenden Elemente der Seilzugmaschine.
- **Einem** ^EStudienteilnehmer half die Generierung von Suchworten zu den Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* dabei, sich einen Überblick über das bearbeitete technische Problem zu verschaffen.
- **Ein** ^EStudienteilnehmer formulierte Suchworte der Suchwortart *Funktion* – entgegen der *BIOscrabble*-Definition einer *Funktion* (Kapitel 5.1.2) – als Verb und Substantiv. Laut ihm führt ein Suchwort der Suchwortart *Funktion* zu desto mehr nützlichen biologischen Publikationen, je größer der Bezug des Substantivs zum bearbeiteten technischen Problem ist.
- **Ein** ^EStudienteilnehmer stellte fest, dass sich die Suchwortart *Eigenschaft* besonders gut für die Suche nach biologischen Lösungen für das Material der zu entwickelnden bionischen Lösung eignet.

Aus der durch die ^EStudienteilnehmer vorgenommenen Zuordnung der Suchworte zu den Suchwortarten wird ersichtlich, dass diese den ^EStudienteilnehmern nicht in allen Fällen klar war. Ein ^EStudienteilnehmer z. B. generierte aus den der Suchwortart *Funktion* zugeordneten Verben Adjektive und ordnete diese dann der Suchwortart *Eigenschaft* zu.

Suchanfragen

Abbildung 6-10 gibt einen Überblick über die Kommentare der ^ES^EA zu Suchanfragen.

| ^E S ^E A mit Kommentaren zu Suchanfragen | |
|---|---|
| Kombination der Suchwortarten | |
| Funktion/ Funktion + x | 4 |
| Funktion + Funktion | 3 |
| Funktion + Umwelt | 3 |
| Funktion + Eigenschaft | 2 |
| Funktion + Eigenschaft + Umwelt | 2 |
| Umwelt + Funktion oder Eigenschaft | 1 |
| Umwelt + Umwelt | 1 |
| Umwelt | 1 |

Abbildung 6-10: Kommentare der ^ES^EA zu Suchanfragen mit verschiedenen Suchwortarten

Bezüglich der Kombination von Suchworten der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* lieferten die Kommentare der ^ES^EA folgende Ergebnisse:

- **Vier** ^EStudienteilnehmer kommentierten die Rolle der Suchwortart *Funktion* in Suchanfragen allgemein. Ein ^EStudienteilnehmer sah die Suchwortart *Funktion* als den wichtigsten Bestandteil einer Suchanfrage, empfahl aber, die Suchanfrage nicht auf diese zu beschränken. Ein ^EStudienteilnehmer sprach sich für ein Suchwort der Suchwortart *Funktion* in jeder Suchanfrage aus. Ein ^EStudienteilnehmer hielt eine Suchanfrage mit nur einem Suchwort der Suchwortart *Funktion* aufgrund ihrer geringen Spezifität für ungeeignet für die Lösungssuche. Ein ^EStudienteilnehmer stellte für eine Suchanfrage mit nur einem Suchwort der Suchwortart *Funktion* eine hohe Anzahl aus der Suche resultierender Publikationen fest.
- **Drei** ^ES^EA fanden es gut bzw. am besten, Suchworte der Suchwortart *Funktion* in einer Suchanfrage zu kombinieren. Ein ^EStudienteilnehmer empfahl hier, alle Teilfunktionen der zu entwickelnden bionischen Lösung in einer Suchanfrage zu kombinieren.
- **Drei** ^ES^EA fanden es gut bzw. am besten, Suchworte der Suchwortarten *Funktion* und *Umwelt* in einer Suchanfrage zu kombinieren. Diese Kombination führte laut eines ^EStudienteilnehmers zu einer übersichtlichen Anzahl resultierender Publikationen und einem hohen Anteil nützlicher biologischer Publikationen. Abbildung 6-12 bestätigt dies (vgl. technisches Problem Wasseraufbereitung).
- **Zwei** ^EStudienteilnehmer fanden es gut, Suchworte der Suchwortarten *Funktion* und *Eigenschaft* in einer Suchanfrage zu kombinieren.

- **Zwei**^EStudienteilnehmer fanden es am besten, Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* in einer Suchanfrage zu kombinieren.
- **Ein**^EStudienteilnehmer kombinierte Suchworte der Suchwortart *Umwelt* mit Suchworten der Suchwortarten *Funktion* oder *Eigenschaft*, um die aus einer Suche resultierenden Publikationen zu filtern, d. h. weniger oder nützlichere Publikationen zu erhalten.
- **Ein**^EStudienteilnehmer fand es gut, Suchworte der Suchwortart *Umwelt* in einer Suchanfrage zu kombinieren.
- **Ein**^EStudienteilnehmer stellte für eine Suchanfrage mit nur einem Suchwort der Suchwortart *Umwelt* eine hohe Anzahl aus der Suche resultierender Publikationen fest.

Suchergebnisse

Die ^EStudienteilnehmer generierten für die Suche nach biologischen Lösungen für ein technisches Problem insgesamt 580 Suchworte, davon 296 (51%)³³ Suchworte zur Suchwortart *Funktion*, 105 (18%) Suchworte zur Suchwortart *Eigenschaft*, 85 (15%) Suchworte zur Suchwortart *Umwelt* und 94 (16%) Suchworte zur Suchwortart *Andere* (Abbildung 6-11).

In den zur Suche genutzten Suchanfragen sind Suchworte der Suchwortart *Funktion* 1.258mal enthalten (38% der Anzahl der Gesamthäufigkeit der genutzten Suchworte aller Suchwortarten), Suchworte der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt* 403mal (12% der Anzahl der Gesamthäufigkeit der genutzten Suchworte aller Suchwortarten) und 580mal (17% der Anzahl der Gesamthäufigkeit der genutzten Suchworte aller Suchwortarten) – weniger als halb so häufig. Suchworte der Suchwortart *Andere* sind 1.097mal (33% der Anzahl der Gesamthäufigkeit der genutzten Suchworte aller Suchwortarten) in den Suchanfragen enthalten (Abbildung 6-11).

Neben den generierten Suchworten pro Suchwortart und deren Vorkommen in den Suchanfragen zeigt Abbildung 6-11 die in den nützlichen biologischen Publikationen enthaltenen Suchwortarten unter Berücksichtigung einer möglichen Koexistenz der Suchwortarten. Ziel ist, darzustellen, wie viele nützliche Publikationen welche Suchwortarten enthalten und mit welchen anderen Suchwortarten diese gleichzeitig vorhanden sind. Im Hinblick auf den Anwendungsleitfaden des erweiterten Lösungsansatzes, gibt diese Darstellung einen Hinweis darauf, welche Suchwortarten bei der Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen einzeln oder in Kombination eher zu nützlichen Publikationen führen als andere.

20 von 90 nützliche Publikationen enthalten gleichzeitig Suchworte der Suchwortarten *Funktion* und *Umwelt*. 13 nützliche Publikationen enthalten nur die Suchwortart *Eigenschaft*. Die Suchwortarten *Funktion* und *Umwelt* sind alleine nur in vier und einer nützlichen Publikation enthalten.

Unabhängig von einer Koexistenz der Suchwortarten kann Abbildung 6-11 ebenfalls entnommen werden, in wie vielen der insgesamt 90 nützlichen biologischen Publikationen der ^EStudienteilnehmer eine Suchwortart enthalten ist, also wie viele der insgesamt 90 nützlichen biologischen Publikationen der ^EStudienteilnehmer über ein Suchwort der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft*, *Umwelt* und *Andere* gefunden werden können.

³³ Alle Prozentangaben im Text sind gerundete Angaben.

Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* sind in 56 (62%), 46 (51%) und 47 (52%) der insgesamt 90 nützlichen Publikationen enthalten. Die Anzahl der Publikationen ist vergleichbar, wobei der Anteil an Publikationen mit der Suchwortart *Funktion* etwas größer ist als der der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt*. In 25 (27%) der 90 nützlichen Publikationen sind Suchworte der Suchwortart *Andere* enthalten.

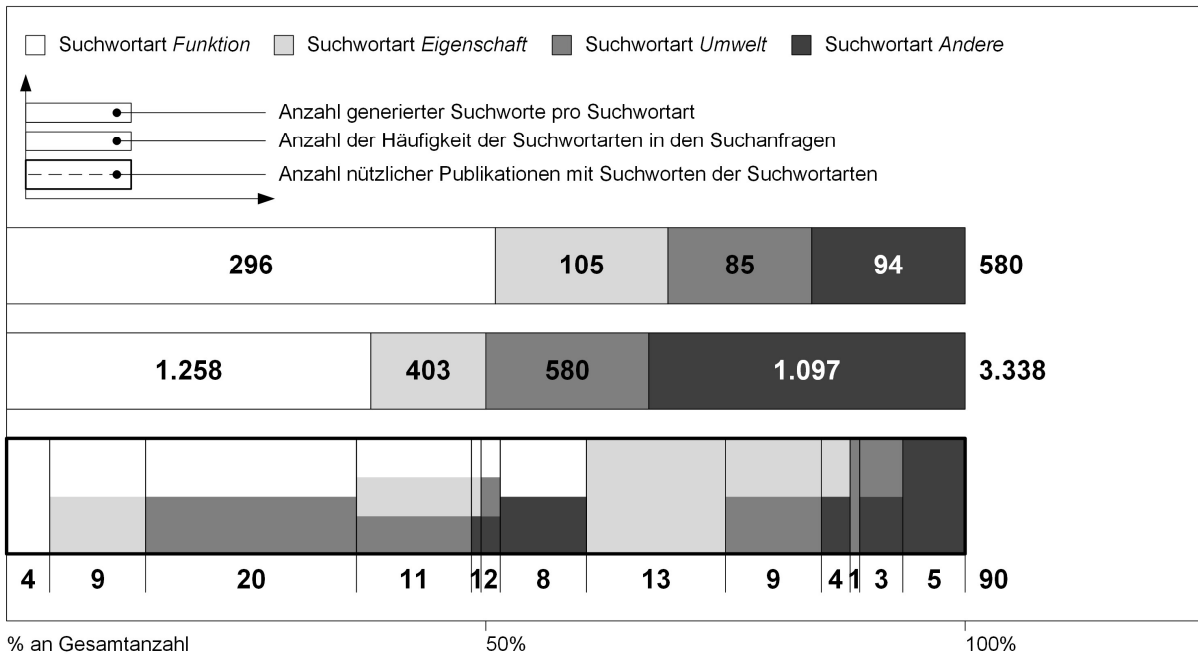


Abbildung 6-11: Suchergebnisse für den Baustein Suchwortart gemeinsam für alle bearbeiteten technischen Probleme und ^EStudienteilnehmer

Der getrennten Betrachtung der ^EStudienteilnehmer (Abbildung 6-12) ist zu entnehmen, dass acht von elf ^EStudienteilnehmern mehr Suchworte zur Suchwortart *Funktion* generierten als zu den Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt*. Drei ^EStudienteilnehmer generierten die meisten Suchworte zur Suchwortart *Eigenschaft*. Zwei dieser drei ^EStudienteilnehmer bearbeiteten das Problem Selbstschärfung.

Die zur Suche genutzten Suchanfragen von sechs ^EStudienteilnehmern enthalten am häufigsten Suchworte zur Suchwortart *Funktion*. Die Suchanfragen der drei der elf ^EStudienteilnehmer, die die meisten Suchworte zur Suchwortart *Eigenschaft* generierten, enthalten am häufigsten Suchworte dieser Suchwortart. Zwei der elf ^EStudienteilnehmer nutzten in ihren Suchanfragen am häufigsten Suchworte der Suchwortart *Andere* (Abbildung 6-12).

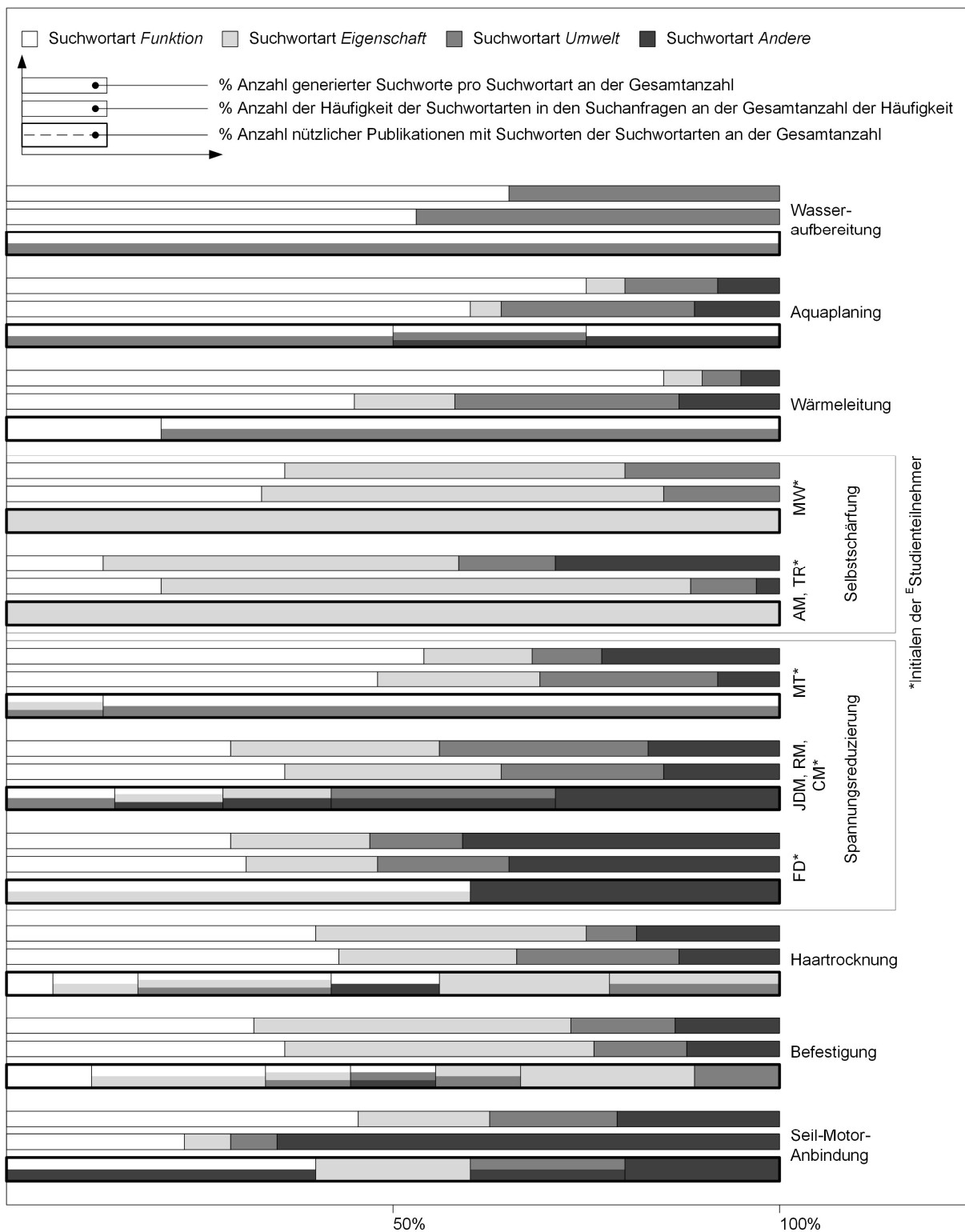


Abbildung 6-12: Suchergebnisse für den Baustein Suchwortart getrennt für bearbeitete technische Probleme und ^EStudienteilnehmer

Im Vergleich zur Gesamtbetrachtung gibt es bei getrennter Betrachtung der ^EStudienteilnehmer große Unterschiede in der Anzahl der nützlichen biologischen Publikationen, die die Suchwortart *Funktion* enthalten, der, die die Suchwortart *Eigenschaft* enthalten und der, die die Suchwortart *Umwelt* enthalten (Abbildung 6-12):

- Bei den technischen Problemen Aquaplaning und Wärmeleitung (hier wurde im Gegensatz zum Problem der Wasseraufbereitung mit der Suchwortart *Eigenschaft* gesucht) enthielt keine der nützlichen Publikationen die Suchwortart *Eigenschaft*.
- Bei dem technischen Problem der Selbstschärfung war bei beiden ^EStudienteilnehmern, die dieses Problem bearbeiteten, weder die Suchwortart *Funktion* noch die Suchwortart *Umwelt* enthalten. Einer der beiden ^EStudienteilnehmer wies auf Schwierigkeiten bei der Lösungssuche mit den Suchwortarten *Funktion* und *Umwelt* hin.
- Im Falle der technischen Probleme Spannungsreduzierung (bei zwei der drei ^EStudienteilnehmer (JDM, RM, CM und FD), die das Problem bearbeiteten) und Seil-Motor-Anbindung, enthält – im Vergleich zu dem geringen Anteil in der Gesamtbetrachtung – der größte bzw. ein großer Anteil der nützlichen Publikationen Suchworte der Suchwortart *Andere*.

Vergleichbar ist die Anzahl der nützlichen biologischen Publikationen, die oben genannte Suchwortarten enthalten, nur im Falle des technischen Problems der Befestigung.

Ein heterogenes Bild ergibt sich für die einzelnen ^EStudienteilnehmer in der Folge auch für die in den nützlichen biologischen Publikationen enthaltenen Suchwortarten unter Berücksichtigung einer möglichen Koexistenz von Suchwortarten. Abbildung 6-12 zeigt, dass dort, wo die meisten nützlichen biologischen Publikationen die Suchwortarten *Funktion* oder *Umwelt* enthalten, diese Suchwortarten in den Publikationen überwiegend gleichzeitig enthalten sind. Bei dem technischen Problem der Selbstschärfung, bei dem die nützlichen Publikationen weder die Suchwortart *Funktion* noch *Umwelt* enthalten, enthalten diese Publikationen entweder die Suchwortart *Eigenschaft* alleine oder gleichzeitig mit Suchworten der Suchwortart *Andere*.

Insgesamt ist kein Zusammenhang zwischen dem Anteil einer Suchwortart an den generierten Suchworten bzw. an den zur Suche genutzten Suchanfragen und – im Vergleich zu anderen Suchwortarten – ihrem Vorkommen in nützlichen Publikationen zu erkennen.

Diskussion der Ergebnisse

Für das Generieren von Suchworten bieten die von den ^{ES}E genutzten Mittel und Strategien eine praktikable Hilfestellung. Sinnvoll scheint eine kombinierte Nutzung dieser Mittel – zumal sich einige nur für das Generieren von Suchworten bestimmter Suchwortarten eignen. Bei der Nutzung der Grundfunktionskataloge von Hill (1997) und der *Assoziationsliste* von Gramann (2004) ist darauf zu achten, dass die den jeweiligen Funktionen zugeordneten biologischen Systeme eine lösungsneutrale Suche nach biologischen Lösungen für ein technisches Problem in biologischen Publikationen nicht behindern.

Selbiges gilt für Suchworte der zusätzlich gewählten Suchwortart *Biologische Analogie*. Hier und bei Suchworten der Suchwortarten *Technische Analogie* und *Funktionsträger* ist darauf zu achten, dass die Suchworte so abstrakt wie möglich sind. Eine Suche mit biologischen oder

technischen Suchworten wie *wing*, *shaft* oder *vessel* ist nicht lösungsneutral und birgt daher die Gefahr, den über biologische Publikationen zur Verfügung gestellten Lösungsraum unnötig einzuschränken. Als für die Lösungssuche in biologischen Publikationen nützlich erwies sich nur die Suchwortart *Funktionsträger*.

Die Studienergebnisse legen nahe, dass die in *BIOscrabble* empfohlenen Suchwortarten für eine Lösungssuche in biologischen Publikationen nicht ausreichen: Die ^EStudienteilnehmer ergänzten die in *BIOscrabble* empfohlenen Suchwortarten um selbst gewählte Suchwortarten und generierten relativ viele Suchworte der Suchwortart *Andere*; diese wurden für die Suche genutzt und sind – für einige technische Probleme – in nützlichen biologischen Publikationen enthalten. Es bleibt die Frage, ob die in *BIOscrabble* empfohlenen Suchwortarten den ^EStudienteilnehmern nicht ausreichen, das bearbeitete technische Problem umfänglich zu beschreiben oder ob sie nicht ausreichen, nützliche Publikationen für das Lösen technischer Probleme zu finden.

Die Kommentare der ^EStudienteilnehmer zu dem Nutzen der und dem Umgang mit den Suchwortarten können hilfreich für die Anwendung von *BIOscrabble* sein. Suchworte der Suchwortart *Funktion* aus einem Verb und einem problembezogenen Substantiv zusammensetzen, widerspricht der Definition einer Funktion in *BIOscrabble* (Kapitel 5.1.2). Die Lösungsneutralität kann an einer fehlenden Lösungsneutralität des Substantivs scheitern. Das Suchwort *Cable* in *Clamp cable* z. B. ist bereits eine technische Lösung. Eine lösungsneutrale Suche mit diesem Wort – wie auch mit allen anderen Worten für menschengemachte Systeme – ist nicht möglich.

Die gelegentlich falsche Zuordnung von Suchworten zu den Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* der ^EStudienteilnehmer kann darin begründet sein, dass die Suchwortarten bzw. die Zuordnung von Suchworten zu den Suchwortarten in *BIOscrabble* nicht ausreichend deutlich erklärt wird.

Insgesamt wurden für die Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen knapp dreimal so viele Suchworte der Suchwortart *Funktion* generiert wie der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt*. Auch der Großteil der ^EStudienteilnehmer generierte die meisten Suchworte zur Suchwortart *Funktion*. Ein möglicher Grund hierfür ist der hohe Stellenwert, der Funktionen in der Ingenieurausbildung an Hochschulen zukommt (Kapitel 3.1.2).

Für die Suche genutzt, d. h. in einer Suchanfrage enthalten, waren insgesamt mehr als doppelt so häufig Suchworte der Suchwortart *Funktion* wie der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt*. Bei getrennter Betrachtung der ^EStudienteilnehmer suchten allerdings nur knapp über die Hälfte der Teilnehmer am häufigsten mit der Suchwortart *Funktion*. Mögliche Gründe hierfür sind: Die ^EStudienteilnehmer, die am meisten Suchworte zur Suchwortart *Funktion* generierten, bevorzugten diese bei der Suche nicht – entweder unabhängig von den aus den verschiedenen Suchen resultierenden Publikationen oder, weil sie während der Suche feststellten, dass aus Suchen mit Suchworten der Suchwortart *Funktion* weniger oder keine nützlichen biologischen Publikationen resultierten.

Die Kommentare der ^{ES}E zur Kombination von Suchworten der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* waren – passend zu den gezeigten Ergebnissen – heterogen. Mit Ausnahme der Kombination von Suchworten der Suchwortart *Eigenschaft* wurden alle möglichen Kombinationen von Suchwortarten von mindestens einem ^{ES}E als nützlich erachtet. Aus den

Suchanfragen der ^EStudienteilnehmer geht allerdings hervor, dass auch die Kombination von Suchworten der Suchwortart *Eigenschaft* zu nützlichen biologischen Publikationen führte (Kapitel 14.4 des Anhangs).

Eine getrennte Betrachtung der nützlichen biologischen Publikationen der ^EStudienteilnehmer legt nahe, dass die Nützlichkeit einer Suchwortart abhängig von dem zu lösenden technischen Problem ist. Bei gemeinsamer Betrachtung der Probleme ist die Anzahl der nützlichen biologischen Publikationen, in welchen Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* enthalten sind, vergleichbar. Dies trifft bei Betrachtung der einzelnen technischen Probleme nur im Falle des Problems Befestigung zu.

Weitere Hinweise auf eine Abhängigkeit zwischen der Nützlichkeit einer Suchwortart und einem zu lösenden technischen Problem können die nützlichen Suchwortarten der in der Studie mehrmals bearbeiteten technischen Probleme geben. Bei dem technischen Problem der Selbstschärfung enthalten die nützlichen Publikationen beider ^EStudienteilnehmer, die das Problem bearbeiteten, weder Suchworte der Suchwortart *Funktion* noch der Suchwortart *Umwelt*. Für das technische Problem der Spannungsreduzierung ergab sich ein weniger einheitliches Bild.

Ob also wirklich ein Zusammenhang zwischen der Nützlichkeit einer Suchwortart und einem technischen Problem besteht, lässt sich aufgrund der relativ geringen Anzahl untersuchter und v. a. mehrfach untersuchter Probleme über die Studie nicht abschließend klären.

Aus der Studie können allerdings Schlüsse über die Nützlichkeit der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt* gezogen werden, die bisher für die direkte, von Ingenieuren durchgeführte Lösungssuche in biologischen Informationsquellen nicht favorisiert wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass ohne die Suchwortart *Eigenschaft* für das technische Problem der Selbstschärfung mit den generierten Suchworten und durchgeführten Suchen keine nützlichen Publikationen gefunden worden wären. Die Suchwortart *Eigenschaft* war hier also entscheidend für das Finden biologischer Lösungen für das technische Problem.

Die Nützlichkeit der Suchwortart *Umwelt* geht weniger deutlich aus den Daten hervor. Die Suchwortart *Umwelt* kommt insgesamt in nur einer nützlichen biologischen Publikation alleine vor, dafür aber in 46 Publikationen gleichzeitig mit Suchworten anderer Arten. Der größte Anteil nützlicher biologischer Publikationen enthält die Suchwortarten *Funktion* und *Umwelt* gleichzeitig. Möglich ist, dass der Hauptnutzen der Suchwortart *Umwelt* der ist, eine Suchanfrage soweit zu spezifizieren, dass wahrscheinlicher nützliche biologische Publikationen gefunden werden. Auch die Suchwortart *Funktion* ist alleine in nur vier der insgesamt 90 nützlichen Publikationen enthalten. Ein möglicher Grund für das geringe alleinige Vorkommen der Suchwortarten *Funktion* und *Umwelt* ist die – verglichen mit der Suchwortart *Eigenschaft* – geringere Spezifität dieser Suchwortarten bzw. eine für die Lösungssuche in biologischen Publikationen zu geringe Spezifität. Diese Vermutungen werden unterstützt durch die Empfehlung der ^EStudienteilnehmer, die Suchwortarten *Funktion* und *Umwelt* mit einer anderen Suchwortart zu kombinieren, um den Anteil nützlicher Publikationen zu erhöhen bzw. die Anzahl der aus einer Suche resultierenden Publikationen zu reduzieren.

Insgesamt lässt sich Folgendes festhalten:

Die Studie ergab potentiell nützliche, in *BIOscrabble* nicht dargelegte, Mittel und Strategien, Suchworte verschiedener Suchwortarten zu generieren und zu nutzen. Suchworte der Suchwortart *Funktion* haben einen hohen Anteil an den generierten und zur Suche genutzten Suchworten, ihr Anteil an den in nützlichen Publikationen enthaltenen Suchworten ist allerdings vergleichbar mit dem der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt*. Die Studienergebnisse weisen auf einen Zusammenhang zwischen der Nützlichkeit einer Suchwortart und einem zu lösenden technischen Problem hin. Sie zeigen – zusätzlich zur Nützlichkeit der Suchwortart *Funktion* – die Nützlichkeit der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt*.

6.2.3 Ergebnisse für den *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortvariationen*

Dieses Kapitel illustriert und diskutiert die Ergebnisse für den *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortvariationen*. Im Zuge dessen wird auch die Eignung von *WordNet* (Princeton University o. J.) zur Generierung von Suchwortvariationen adressiert.

Da eine Unterscheidung der Suchwortvariationen Synonyme, Hyponyme und Hyperonyme für die Studie irrelevant ist, werden diese Suchwortvariationen im Folgenden unter SHHnyme zusammengefasst. Ist allgemein von Suchwortvariationen die Rede, sind SHHnyme, Antonyme und *Wortstammbasierte Variationen* gemeint.

Darstellung der Ergebnisse

Die aus der tabellarischen Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer sowie den Kommentaren der ^ES^EA übernommenen bzw. gewonnenen suchwortvariationenspezifischen Ergebnisse zu den für die Suche verwendeten Suchworten und Suchanfragen sowie den Suchergebnissen sind im Folgenden dargestellt.

Suchworte

Abbildung 6-13 gibt einen Überblick über die Kommentare der ^ES^EA zu Suchwortvariationen.

BIOscrabble schlägt zur Generierung der Suchwortvariationen die Nutzung der lexikalischen Datenbasis *WordNet* (Princeton University o. J.) vor. Neun ^ES^EA dokumentierten, *WordNet* zur Generierung von Suchwortvariationen verwendet zu haben.

- Drei ^ES^EA waren unzufrieden mit der Auswahl der von *WordNet* angebotenen Suchwortvariationen.
- Ein ^EStudienteilnehmer bemängelte ein häufiges Fehlen von Antonymen zu einem Suchwort.

Als Ergänzung zu oder anstelle von *WordNet* (Princeton University o. J.) nutzten die ^ES^EA folgende Programme zur Generierung von Suchwortvariationen. Es ist zu unterscheiden zwischen Programmen zur Generierung von deutschen oder englischen Suchwortvariationen und Übersetzungsprogrammen (Deutsch – Englisch), die im Zuge der Übersetzung meist mehrere Worte gleicher oder ähnlicher Bedeutung – und somit möglicherweise die Suchwortvariationen SHHnyme – anbieten.

- **Vier**^{ESEA} nutzen das Online-Wörterbuch *LEO* (LEO GmbH o. J.) zur Generierung von englischen Suchworten inklusive englischer SHHnymen aus deutschen Suchworten.
- **Zwei**^E Studienteilnehmer nutzten das Online-Wörterbuch *Woxikon* (Eisbär Media GmbH/ Christoph Kilz o. J.) zur Generierung deutscher SHHnyme zu deutschen Suchworten.
- **Zwei**^E Studienteilnehmer nutzten den Thesaurus *Thesaurus.com* (Dictionary.com, LLC o. J.) zur Generierung englischer SHHnyme und Antonyme zu englischen Suchworten. Ein^E Studienteilnehmer zog der Nutzung von *WordNet* (Princeton University o. J.) die Nutzung von *Thesaurus.com* vor. Er betonte die übersichtliche Darstellung der von *Thesaurus.com* angebotenen Suchwortvariationen. Vermisst wurden *Wortstammbasierte Variationen*.
- **Ein**^E Studienteilnehmer nutzte das Wörterbuch *Duden online* (Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag o. J.) zur Generierung deutscher SHHnyme zu deutschen Suchworten.
- **Ein**^E Studienteilnehmer nutzte *Linguee* (Linguee GmbH o. J.) – eine Kombination aus Wörterbuch und Suchmaschine (für das Durchsuchen zweisprachiger Texte nach Worten oder Ausdrücken) – zur Generierung von englischen Suchworten inklusive englischer SHHnymen aus deutschen Suchworten.

| ^{ESEA} mit Kommentaren zu Suchwortvariationen | |
|---|----------|
| Generierung der Suchwortvariationen | |
| <i>WordNet</i> | 9 |
| <i>LEO</i> | 4 |
| <i>Woxikon</i> | 2 |
| <i>Thesaurus.com</i> | 2 |
| <i>Duden online</i> | 1 |
| <i>Linguee</i> | 1 |
| <i>Visual Thesaurus</i> | 1 |
| Kombination mehrerer Programme | 1 |
| Zeitaufwand | 1 |
| Nützlichkeit der Suchwortvariationen | |
| <i>Wortstammbasierte Variationen</i> | 5 |
| SHHnyme | 3 |
| Antonyme | 3 |

Abbildung 6-13: Kommentare der ^{ESEA} zu Suchwortvariationen

- **Ein**^EStudienteilnehmer nutzte das interaktive Wörterbuch und Thesaurus *Visual Thesaurus* (Thinkmap.Inc o. J.) zur Generierung englischer SHHNyme, Antonyme und *Wortstammbasierter Variationen* zu englischen Suchworten. Er zog die Nutzung von *Visual Thesaurus* der Nutzung von WordNet (Princeton University o. J.) vor.

Ein^EStudienteilnehmer empfahl die Nutzung mehrerer Programme zur Generierung von Suchwortvariationen.

Ein^EAnwender hielt fest, dass die Generierung von Suchwortvariationen länger dauerte als das Team (Einführung Kapitel 6.2) vorher annahm.

Bezüglich des Nutzens bestimmter Suchwortvariationen gaben die ^ES^EA folgende Kommentare ab:

- **Fünf**^EStudienteilnehmer fanden die Nutzung von *Wortstammbasierten Variationen* nützlich für die Lösungssuche mit *BIOscrabble*. Ein ^EStudienteilnehmer hielt nur wenige der *Wortstammbasierten Variationen* für nützlich. Ein anderer ^EStudienteilnehmer fand nicht zu allen Suchworten *Wortstammbasierte Variationen*.
- **Drei**^EStudienteilnehmer fanden die Nutzung von SHHNymen nützlich für die Lösungssuche mit *BIOscrabble*. Ein ^EStudienteilnehmer fand nicht zu allen Suchworten SHHNyme, ein weiterer fand nur wenige nützliche SHHNyme für Suchworte der Suchwortart *Eigenschaft*.
- **Drei**^EStudienteilnehmer fanden die Nutzung von Antonymen nicht nützlich für die Lösungssuche mit *BIOscrabble*. Ein ^EStudienteilnehmer nannte als einen Grund, dass die aus einer Suche resultierenden Publikationen stark von der Thematik des bearbeiteten technischen Problems abwichen. Aus der tabellarischen Dokumentation der Lösungssuche wird ersichtlich, dass ein Antonym einer Suchanfrage nur in einer Publikation der insgesamt 90 nützlichen biologischen Publikationen der ^EStudienteilnehmer enthalten ist (technisches Problem Selbstschärfung, ein ^EStudienteilnehmer (MW)). Dieser ^EStudienteilnehmer hielt die Nützlichkeit von Antonymen in seinen Kommentaren fest.

Suchanfragen

Da bezüglich der Suchanfragen kein Unterschied zwischen Suchworten und deren Variationen gemacht wird, wird an dieser Stelle auf die Kapitel 6.2.1 und 6.2.2 verwiesen.

Suchergebnisse

Die ^EStudienteilnehmer generierten für die Suche nach biologischen Lösungen für ein technisches Problem insgesamt 580 Suchworte, davon 205 nicht variierte Suchworte und 309 Suchwortvariationen, das sind 35% und 53%. Bei 66, also 11%, der generierten Suchworte ist den Dokumentationen der ^EStudienteilnehmer nicht zu entnehmen, woher diese kommen oder ob sie variiert sind oder nicht. Diese werden im Folgenden unklare Suchworte genannt (Abbildung 6-14).

Bei getrennter Betrachtung der Suchworte der ^EStudienteilnehmer liegt der Prozentsatz an Suchwortvariationen zwischen 0% und 77% (Abbildung 6-15).

In den zur Suche genutzten Suchanfragen sind nicht variierte Suchworte 1442mal (43% der Anzahl der Gesamthäufigkeit aller genutzten Suchworte) enthalten, variierte Suchworte 1599mal (48% der Anzahl der Gesamthäufigkeit aller genutzten Suchworte) – also ähnlich häufig. Unklare Suchworte sind 297mal (9% der Anzahl der Gesamthäufigkeit aller genutzten Suchworte) enthalten (Abbildung 6-14).

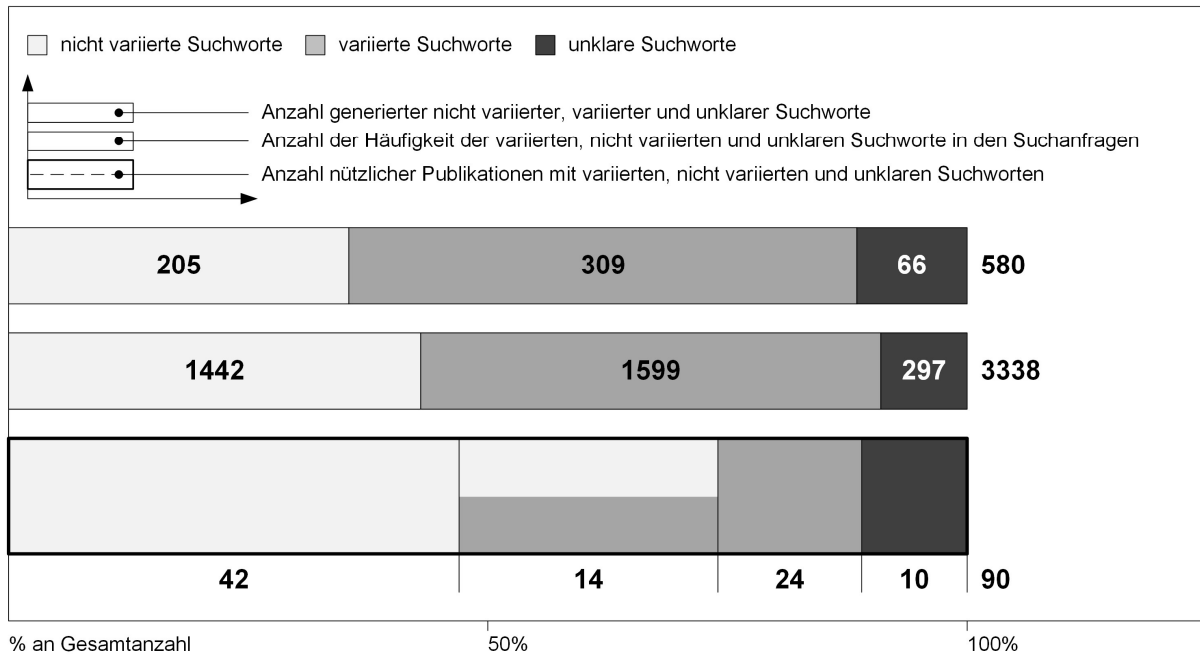


Abbildung 6-14: Suchergebnisse für den Baustein Suchwortvariation gemeinsam für alle bearbeiteten technischen Probleme und ^EStudienteilnehmer

Bei getrennter Betrachtung der Suchanfragen der ^EStudienteilnehmer suchten sieben ^EStudienteilnehmer häufiger mit nicht variierten als mit variierten Suchworten, vier häufiger mit variierten als nicht variierten (Abbildung 6-15).

Abbildung 6-14 zeigt, in wie vielen der insgesamt 90 nützlichen biologischen Publikationen variierte bzw. nicht variierte Suchworte, beide oder unklare Suchworte enthalten sind.

In 42 (47%) der 90 nützlichen biologischen Publikationen sind ausschließlich die für die Suche nach ihnen verwendeten nicht variierten Suchworte enthalten. 14 (16%) nützliche biologische Publikationen enthalten ausschließlich zur Suche nach ihnen verwendete Suchwortvariationen, 24 (27%) enthalten beide. In zehn (11%) nützlichen biologischen Publikationen sind ausschließlich zur Suche nach ihnen verwendete unklare Suchworte enthalten.

Bei getrennter Betrachtung der ^EStudienteilnehmer wird ersichtlich, dass nur bei vier der elf ^EStudienteilnehmer nützliche biologische Publikationen auftreten, die ausschließlich die zur Suche nach ihnen verwendeten Suchwortvariationen bzw. SHHnyme enthalten (Abbildung 6-15).

- Es sind zwei (33%) von sechs Publikationen für das technische Problem der Wasseraufbereitung.

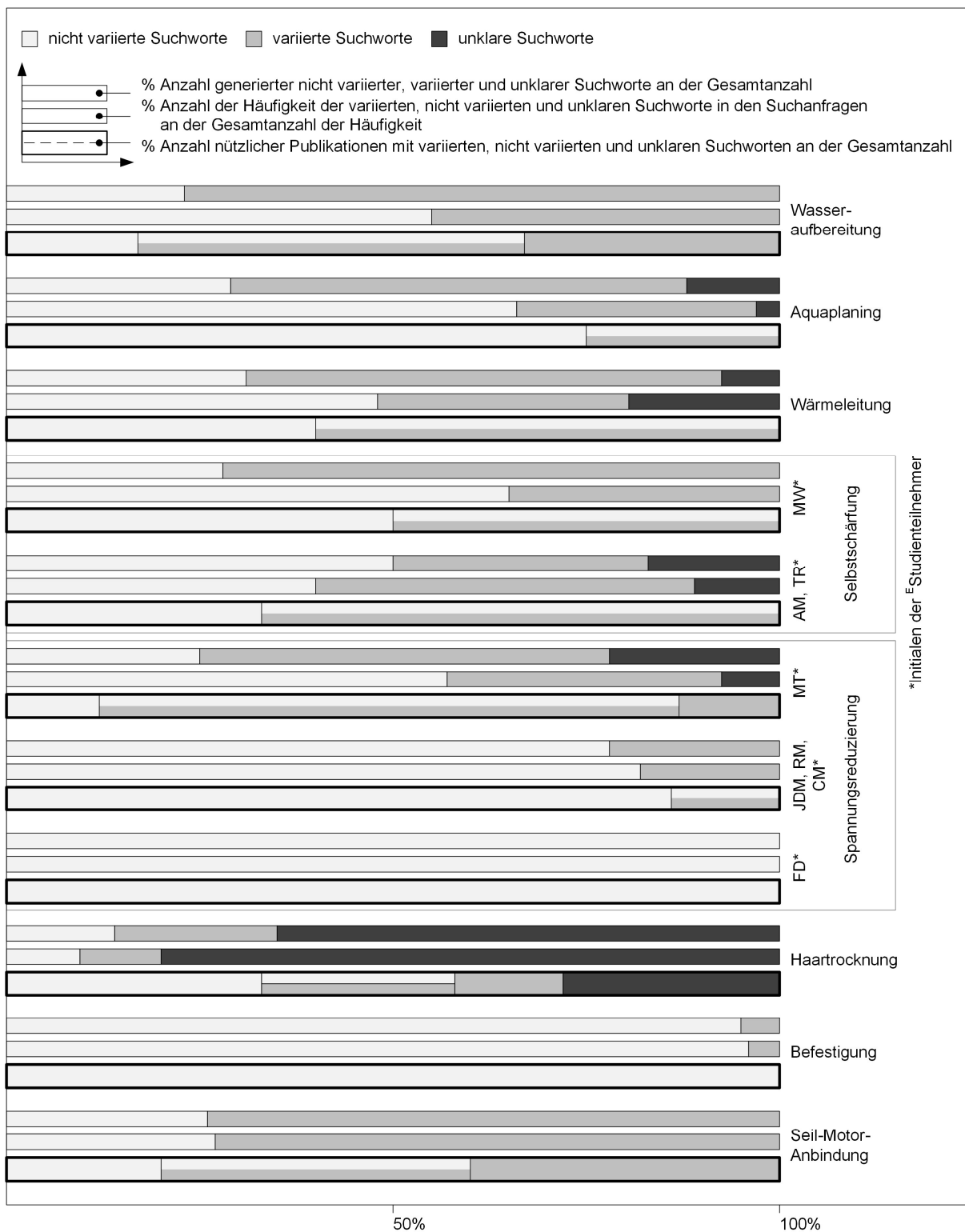


Abbildung 6-15: Suchergebnisse für den Baustein Suchwortvariation getrennt für bearbeitete technische Probleme und ^EStudienteilnehmer

- Es ist eine (13%) von acht Publikationen für das technische Problem der Spannungsreduzierung (bei einem der drei ^EStudienteilnehmer (MT), die dieses Problem bearbeiteten).
- Es sind neun (25%) von 36 Publikationen für das technische Problem der Haartrocknung. Hinzu kommen die oben genannten zehn (28%) Publikationen, die ausschließlich unklare Suchworte enthalten.
- Es sind zwei (40%) von fünf Publikationen für das technische Problem der Seil-Motor-Anbindung.

Diskussion der Ergebnisse

Die Kommentare der ^EStudienteilnehmer zur Generierung von Suchwortvariationen weisen auf eine ungenügende Eignung von *WordNet* (Princeton University o. J.) als alleiniges Hilfsmittel hin. Die von den ^EStudienteilnehmern zusätzlich genutzten Programme stellen eine vielversprechende Ergänzung zu *WordNet* dar. Für den Fall, dass Englisch nicht die Muttersprache ist, kann es sowohl nützlich sein, erst deutsche Suchwortvariationen aus deutschen Suchworten zu generieren und diese dann zu übersetzen als auch deutsche Suchworte ins Englische zu übersetzen und die Suchwortvariationen anschließend zu generieren. In beiden Fällen können auch Übersetzungsprogramme als Hilfsmittel für die Generierung von Suchwortvariationen fungieren.

Mit Ausnahme der Antonyme gaben die ^ESEA ausschließlich positive Kommentare zur Nützlichkeit der Suchwortvariationen ab.

Antonyme waren in der betrachteten Studie auch nicht entscheidend für das Finden nützlicher biologischer Publikationen. Nur in einer nützlichen biologischen Publikation ist ein zur Suche nach ihr verwendetes Antonym enthalten – in Kombination mit einem nicht variierten Suchwort.

Die Nützlichkeit der SHHnyme spiegelt sich in den Suchergebnissen von vier der elf ^EStudienteilnehmern wider. 14 (25%) der 55 nützlichen biologischen Publikationen dieser ^EStudienteilnehmer (abzüglich der zehn (18%) Publikationen, die ausschließlich zur Suche nach ihnen verwendete unklare Suchworte enthalten) enthalten ausschließlich die zur Suche nach ihnen verwendeten SHHnyme.

Dennoch sind, vor dem Hintergrund der vorherrschenden Meinung, dass Ingenieure und Biologen disziplinbedingt unterschiedliche Sprachen sprechen (Kapitel 5.1.3), 14 (16%) von insgesamt 90 nützlichen biologischen Publikationen (abzüglich der zehn (11%) Publikationen, die ausschließlich zur Suche nach ihnen verwendete unklare Suchworte enthalten) relativ wenig.

Hinzu kommt, dass die zu den Suchwortvariationen gezählten *Wortstammbasierten Variationen* keinen Beitrag zur Überbrückung disziplinspezifischer Sprachunterschiede leisten. Ein Zählen der *Wortstammbasierten Variationen* nicht variierten Suchworte zu den nicht variierten Suchworten resultiert in nur noch sieben nützlichen biologischen Publikationen, die ausschließlich die zur Suche nach ihnen verwendeten SHHnyme enthalten – für deren Finden es also einer Sprachüberbrückung bedurfte (Abbildung 6-16).

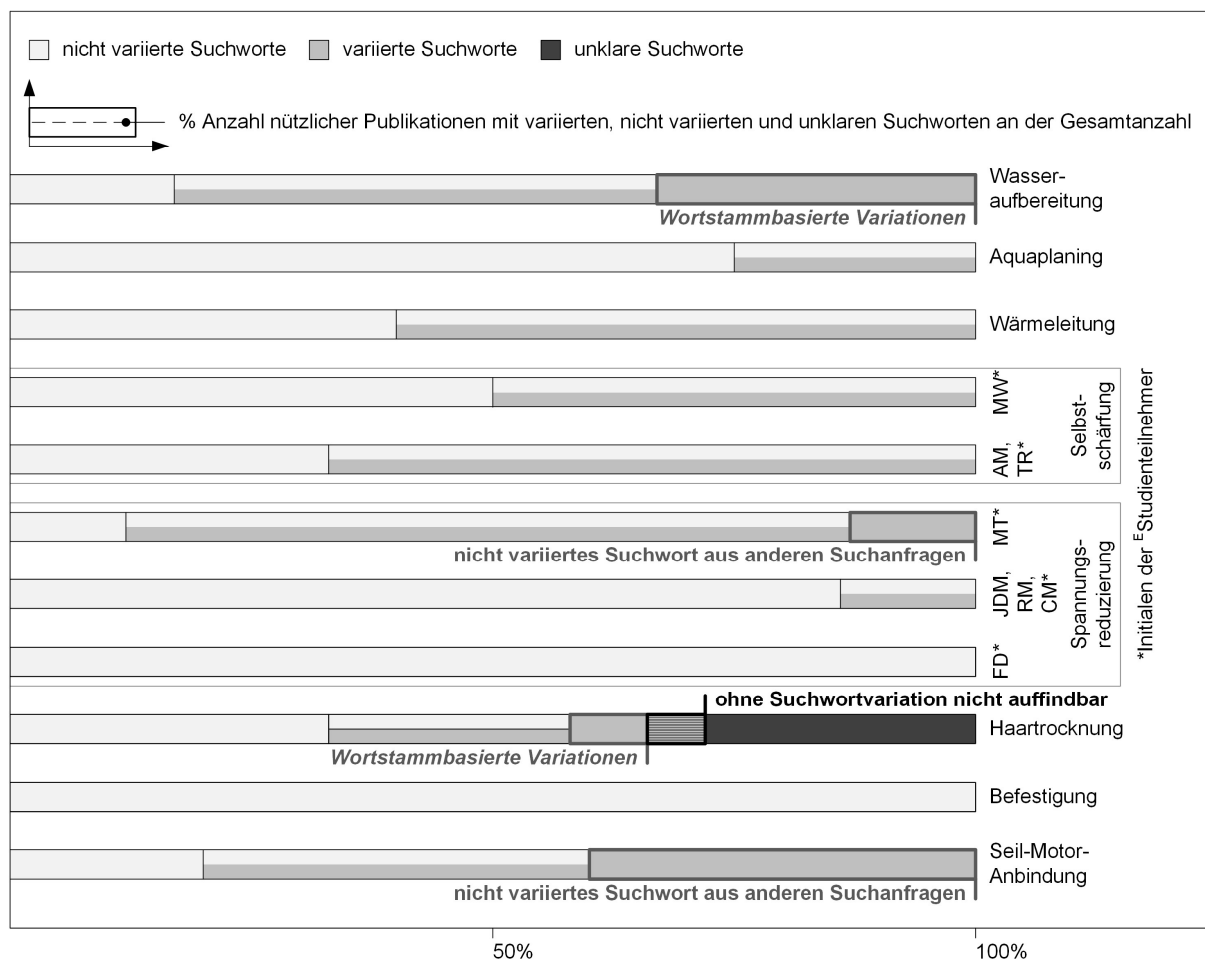


Abbildung 6-16: Suchergebnisse für den Baustein Suchwortvariation getrennt für bearbeitete technische Probleme und ^EStudienteilnehmer

Interessant ist, dass fünf dieser sieben Publikationen ein nicht variiertes Suchwort enthalten, welches zwar nicht in den für das Finden dieser Publikationen verantwortlichen Suchanfragen, aber prinzipiell in zur Suche verwendeten Suchanfragen des betreffenden ^EStudienteilnehmers enthalten ist. Es bleiben zwei Publikationen, die ohne Suchwortvariation nicht gefunden worden wären (Abbildung 6-16).

Eine Entwicklung bionischer Lösungsideen wäre im Falle aller ^EStudienteilnehmer ohne Suchwortvariationen möglich gewesen (Abbildung 6-15).

Die Studienergebnisse für den *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortvariationen* geben Anlass, die Rolle disziplinspezifischer Sprachunterschiede als prinzipielles Hindernis für die Lösungssuche in der Bionik bzw. die von Ingenieuren durchgeführte Lösungssuche direkt in biologischen Informationsquellen zu überdenken.

Die im Vergleich zum Stand der Forschung geringe Bedeutung von Suchwortvariationen für die Lösungssuche in der Bionik in dieser Studie kann folgende Gründe haben:

- Biologische Publikationen gleichen bestehende disziplinspezifische Sprachunterschiede durch ihren Umfang aus.
- Disziplinspezifische Sprachunterschiede zwischen Ingenieuren und Biologen nehmen mit steigender Wissenschaftlichkeit der verwendeten biologischen Informationsquelle ab.
- Die, zusätzlich zur im Bereich der Lösungssuche in biologischen Informationsquellen favorisierten Suchwortart *Funktion* regelmäßig verwendeten, Suchwortarten *Umwelt* und *Eigenschaft* übernehmen die Funktion von Suchwortvariationen bei der Überbrückung disziplinspezifischer Sprachunterschiede.
- Die Studienergebnisse für Suchwortvariationen wurden durch die während der Lösungssuche aus *PubMed* entnommenen, nicht variierten Suchworte möglicherweise verfälscht, da diese strenggenommen nicht als von Ingenieuren erzeugte Suchworte gezählt werden können. Sie entsprechen vielmehr den von Chiu und Shu (2005, 2007) erarbeiteten *biologically meaningful keywords* oder dem *Engineering-to-Biology Thesaurus* von Stroble et al. (2009b), Nagel et al. (2010). Ein Zählen der aus *PubMed* entnommenen, nicht variierten Suchworte zu den Suchwortvariationen ergab acht zusätzliche nützliche biologische Publikationen, die ausschließlich die zur Suche nach ihnen verwendeten Suchwortvariationen enthalten. Eine der acht Publikationen hätte über in anderen Suchanfragen verwendete, nicht variierte Suchworte gefunden werden können. Sieben der acht Publikationen sind den vier ^EStudienteilnehmern zuzuordnen, für die SHHnyme entscheidend für das Finden aller nützlichen biologischen Publikationen waren. Für elf ^EStudienteilnehmer waren Suchwortvariationen auch unter Berücksichtigung von *PubMed*-Suchworten von geringer Bedeutung.

Auszuschließen ist, dass der Grund eine Unterrepräsentation der Suchwortvariationen ist. Insgesamt wurden ungefähr gleich viele Suchwortvariationen wie nicht variierte Suchworte generiert und in den zur Suche verwendeten Suchanfragen verwendet. Auch bei getrennter Betrachtung der ^EStudienteilnehmer besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl generierter variiertes bzw. generierter nicht variiertes Suchworte oder der Häufigkeit variiertes bzw. nicht variiertes Suchworte in den Suchanfragen und der Anzahl oder Verteilung nützlicher Publikationen, die nur, auch oder keine Suchwortvariationen enthalten (Abbildung 6-14, Abbildung 6-15).

Insgesamt lässt sich Folgendes festhalten:

Angesichts der in der Studie beobachteten geringen Bedeutung von Suchwortvariationen für das Finden nützlicher biologischer Publikationen und dem von einem ^EAnwender festgehaltenen unerwartet hohen zeitlichen Aufwand für das Generieren von Suchwortvariationen stellt sich die Frage, ob der Verwendung von Suchwortvariationen für die Lösungssuche in der Bionik im Sinne einer Aufwand-Nutzen-Abschätzung weiterhin der bisherige Stellenwert einzuräumen ist. Unabhängig davon ergab die Studie potentiell nützliche, in *BIOscrabble* nicht dargelegte Mittel und Strategien, Suchwortvariationen zu generieren.

6.2.4 Ergebnisse für den *BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen*

Dieses Kapitel illustriert und diskutiert die Ergebnisse für den *BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen*. Adressiert werden die Eignung von biologischen Publikationen als Quelle biologischer Information und Inspiration für Studierende des Maschinenwesens (stellvertretend für Ingenieure) sowie die Eignung und Nutzung von *PubMed* als Bezugsquelle biologischer Publikationen.

Zusätzlich zu *PubMed* nutzten einige der ^ES^EA weitere Quellen biologischer Information, um nach biologischen Lösungen für das bearbeitete technische Problem zu suchen. Die Ergebnisse für die Eignung dieser Quellen für die bionische Lösungssuche im Vergleich zu *PubMed* werden ebenfalls illustriert und diskutiert.

Darstellung der Ergebnisse

Die aus den Kommentaren der ^ES^EA übernommenen bzw. gewonnenen Ergebnisse zu biologischen Publikationen, *PubMed* und zusätzlichen Quellen biologischer Information und Inspiration sind im Folgenden dargestellt.

Biologische Publikationen und PubMed – Eignung als Inspirationsquelle

Abbildung 6-17 gibt einen Überblick über die Kommentare der ^ES^EA zur Eignung biologischer Publikationen und *PubMed* als Inspirationsquelle.

Die in Kapitel 14.5 des Anhangs beschriebenen bionischen Lösungsideen der ^EStudienteilnehmer zeigen, dass Studierende des Maschinenwesens ohne Erfahrung im Bereich Bionik oder biologische Fachkenntnisse in der Lage sind, auf Basis biologischer Publikationen bionische Lösungsideen zu entwickeln.

Als Inspiration für die Entwicklung bionischer Lösungsideen beurteilten sechs ^EStudienteilnehmer die von *PubMed* bezogenen biologischen Publikationen positiv.

- **Zwei** ^EStudienteilnehmer sahen in *PubMed*-Publikationen eine hervorragende Lösungsquelle. Einer von ihnen sah in ihnen eine Quelle vielfältiger, kombinierbarer Lösungsideen.
- **Zwei** ^EStudienteilnehmer begrüßten die aus Bereichen wie der Biomedizin oder der Biophysik in *PubMed*-Publikationen angebotenen technischen Lösungen³⁴.
- **Ein** ^EStudienteilnehmer schrieb *PubMed*-Publikationen ein hohes Potential für das Lösen technischer Probleme zu.
- **Ein** ^EStudienteilnehmer stellte heraus, dass *PubMed*-Publikationen die Biologie von molekularer bis Ökosystemebene, also umfassend, abdecken.
- **Ein** ^EStudienteilnehmer empfand *PubMed*-Publikationen als kreativitätssteigernd³⁵.

³⁴ Diese sind zwar keine biologischen Lösungen und daher strenggenommen keine Inspiration für die Bionik, haben aber dennoch Potential zur Entwicklung bionischer Lösungsideen beizutragen.

³⁵ Wie der ^EStudienteilnehmer Kreativität definierte, geht aus seiner Dokumentation nicht hervor.

- **Ein** ^ES^EA Teilnehmer sah in *PubMed*-Publikationen einen guten Ausgangspunkt für weitere Recherchen zu den durch *PubMed* aufgezeigten biologischen Lösungen.

| ^ES^EA mit Kommentaren zur Eignung biologischer Publikationen und <i>PubMed</i> als Inspirationsquelle | |
|---|----------|
| Positive Beurteilung | |
| Hervorragende Lösungsquelle | 2 |
| Zusatznutzen durch technische Lösungen aus der Biomedizin oder -physik | 2 |
| Hohes Potential für das Lösen technischer Probleme | 1 |
| Umfassende Abdeckung der Biologie | 1 |
| Kreativitätssteigernd | 1 |
| Lösungen stellen guten Ausgangspunkt für weitere Recherchen dar | 1 |
| Herausforderungen | |
| Verstehen der Publikationsinhalte | 6 |
| Allgemein Verständnisschwierigkeiten | 5 |
| Entscheidend: gute Englischkenntnisse | 3 |
| Hoher Aufwand für Zusatzrecherchen für ein besseres Verständnis | 2 |
| Verständnisschwierigkeiten bei Publikationen zu molekularen Themen | 1 |
| Erschwertes Verständnis durch Fachworte, zeitaufwändiges Nachschlagen von Fachworten | 1 |
| Fehlende Erklärung der Funktionsweise des in einer Publikation enthaltenen Systems | 1 |
| Aber: Oberflächliches Verständnis reicht für eine Lösungsidee | 1 |
| Gefahr: Verwerfen von Publikationen aufgrund von Verständnisschwierigkeiten | 1 |
| Vielzahl an molekularen/ medizinischen Inhalten | 3 |
| Geringer Anteil nützlicher Publikationen an durchgesehenen Publikationen | 3 |
| Vielzahl an Publikationen | 1 |
| Geringe Anzahl aussagekräftiger Abbildungen | 1 |
| Hoher zeitlicher Aufwand | 1 |
| Freie und kreative Übertragung der Inhalte | 1 |

Abbildung 6-17: Kommentare der ^ES^EA zur Eignung von biologischen Publikationen und *PubMed* als Inspirationsquelle

Herausforderungen bei der Nutzung von *PubMed*-Publikationen als Inspiration für die Entwicklung bionischer Lösungsideen sahen die ^ES^EA in Folgendem:

Sechs ^ES^EA gaben an, Schwierigkeiten beim Verstehen der *PubMed*-Publikationen gehabt zu haben.

- **Fünf** ^ES^EA gaben allgemein an, Schwierigkeiten beim Verstehen der Publikationsinhalte gehabt zu haben.

- **Drei**^EStudienteilnehmer hielten gute Englischkenntnisse für entscheidend für das Verstehen der Publikationen.
- **Zwei**^EStudienteilnehmer gaben einen, für das Verstehen der Publikationen notwendigen, erheblichen Aufwand für zusätzliche Recherchen (teils außerhalb von *PubMed*) zu den in den Publikationen veröffentlichten Inhalten an.
- **Ein**^EAnwender gab an, bei Publikationen zu molekularen Themen Verständnisschwierigkeiten gehabt zu haben.
- **Ein**^EAnwender gab an, dass die in den Publikationen verwendeten Fachworte ein Verstehen erschwerten. Er bemängelte ein zeitaufwändiges Nachschlagen der Fachworte.
- **Ein**^EStudienteilnehmer bemängelte eine oft fehlende Erklärung der Funktionsweise der in einer Publikation enthaltenen biologischen Systeme.

Eine von Verständnisschwierigkeiten ausgehende Gefahr sah **ein**^EStudienteilnehmer in einem daraus resultierenden vorschnellen Verwerfen von vermeintlich nicht nützlichen *PubMed*-Publikationen.

Ein anderer^EStudienteilnehmer merkte an, dass auch ein oberflächliches Verstehen einer *PubMed*-Publikation für eine, auf dieser basierenden, Entwicklung einer bionischen Lösungsidee ausreicht.

Herausfordernd bei der Nutzung von *PubMed*-Publikationen war laut der^ES^EA weiterhin

- die hohe Anzahl an *PubMed*-Publikationen zu molekularen bzw. medizinischen Themen (**drei**^ES^EA). Ein^EStudienteilnehmer hielt letztere für irrelevant.
- der geringe Anteil nützlicher biologischer Publikationen an den durchgesehenen Publikationen (**drei**^EStudienteilnehmer).
- die Vielzahl der in *PubMed* hinterlegten Publikationen (**ein**^EStudienteilnehmer).
- die geringe Anzahl aussagekräftiger Abbildungen in den *PubMed*-Publikationen (**ein**^EStudienteilnehmer). Im Vergleich zu Text waren Abbildungen für ihn die verständlichere Informationsquelle³⁶.
- der hohe zeitliche Aufwand für die Nutzung von *PubMed*-Publikationen als Inspirationsquelle (**ein**^EStudienteilnehmer).
- die Notwendigkeit, die Inhalte der *PubMed*-Publikationen zur Entwicklung von Lösungsideen sehr frei und kreativ³⁷ zu übertragen (**ein**^EStudienteilnehmer).

PubMed – Nutzung

Die größte Herausforderung bei der Nutzung von *PubMed* als Bezugsquelle biologischer Publikationen sah ein^EStudienteilnehmer in der Entwicklung einer systematischen Suchstrategie.

³⁶ Studienergebnisse von Casakin und Goldschmidt (1999) deuten darauf hin, dass bildliche Analogien vor allem unerfahrene Entwickler bei der Lösungsgenerierung unterstützen können.

³⁷ Wie der^EStudienteilnehmer Kreativität definierte, geht aus seiner Dokumentation nicht hervor.

Im Folgenden sind die von den ^ES^EA für die Suche nach biologischen Lösungen für das bearbeitete technische Problem in *PubMed* angewendeten Suchstrategien dargestellt. Angesprochen werden

- das Filtern von Suchergebnissen.
- das Sortieren von Suchergebnissen.
- das Durchsehen von Suchergebnissen (inklusive Bewertung).
- das Untersuchen von Suchergebnissen (inklusive Bewertung).
- das Nutzen von Suchergebnissen.

Abbildung 6-18 gibt einen Überblick über die Kommentare der ^ES^EA zur Nutzung von *PubMed*.

| ^E S ^E A mit Kommentaren zur Nutzung von <i>PubMed</i> | |
|---|----------|
| Filtern von Suchergebnissen | 3 |
| Sortieren von Suchergebnissen | 4 |
| Durchsehen von Suchergebnissen | |
| Auswahl durchzusehender Publikationen | 8 |
| Vorteile und Gefahren | 3 |
| Lesen der Publikationen | 6 |
| Verwerfen von Publikationen | 4 |
| Auswahl zu untersuchender Publikationen | 4 |
| Untersuchen von Suchergebnissen | |
| Lesen der Publikationen | 3 |
| Verwerfen von Publikationen | 3 |
| Bewertung der Nützlichkeit von Publikationen | 7 |
| Nutzen von Suchergebnissen | |
| Weiterführende Informationen zu Publikationen | 6 |
| Aufwand für die Beschaffung weiterführender Informationen zu Publikationen | 1 |

Abbildung 6-18: Kommentare der ^ES^EA zur Nutzung von *PubMed*

Filtern von Suchergebnissen:

Die ^EStudienteilnehmer nutzten verschiedene der in *PubMed* angebotenen Filter zum Filtern von Suchergebnissen. Interessant sind hier die Kommentare von **drei** ^EStudienteilnehmern zu deren Nutzung.

- Ein ^EStudienteilnehmer empfahl, zu Beginn keine oder nur wenige Filter zu verwenden.

- Ein ^EStudienteilnehmer empfahl, keine Suchergebnisse aufgrund des Publikationsdatums herauszufiltern, da so die Gefahr besteht, durch mögliche Forschungstrends die Bandbreite resultierender biologischer Lösungen zu reduzieren.
- Ein ^EStudienteilnehmer stellte fest, dass die in *PubMed* angebotenen Filter nur einen geringen Beitrag zum leichteren Finden nützlicher biologischer Publikationen leisteten.
- Ein ^EStudienteilnehmer bemängelte ein fehlendes Angebot „objektiver Filterkriterien“ in *PubMed*.

Die Ergebnisse zum Filtern der Suchergebnisse über Boolesche Operatoren oder Anführungszeichen sind in Kapitel 6.2.1 dargelegt.

Sortieren von Suchergebnissen

Die Suchergebnisse sind in *PubMed* standardmäßig nach dem Publikationsdatum (die neueste Publikation zuerst – *Sort by: Most Recent*) sortiert. Vier ^{ES}E gaben ein Umsortieren an.

- Drei ^{ES}E gaben an, die Suchergebnisse nach Relevanz (*Sort by: Relevance*) sortiert zu haben. Sie gaben hierfür keine Gründe an.
- Ein ^EStudienteilnehmer fand eine Sortierung der Suchergebnisse nach den Zeitschriften, in welchen sie erschienen (*Sort by: Journal*), sinnvoll.

Durchsehen von Suchergebnissen

Die ^{ES}E wendeten verschiedene Strategien an, um die durchzusehenden Suchergebnisse auszuwählen. Acht ^{ES}E kommentierten diese.

- Vier ^{ES}E sahen die ersten zehn (neuesten) bzw. 15 oder 20 (relevantesten) Suchergebnisse jeder Suche durch. Ein ^EAnwender sah zusätzlich zu den zehn neuesten auch die 10 ältesten Suchergebnisse durch. Für den Fall, dass die relevantesten 15 Suchergebnisse einer Suche mehr als 30% für eine Untersuchung weiterzuverfolgende Publikationen ergaben, sah ein ^EStudienteilnehmer solange weitere zehn Suchergebnisse durch, bis der Anteil weiterzuverfolgender Publikationen bei unter 30% lag.
- Zwei ^{ES}E wählten die durchzusehenden Suchergebnisse zufällig aus. Ein ^EStudienteilnehmer nutzte hierfür einen online nutzbaren Zufallsgenerator³⁸. Zusätzlich zu den zufällig ausgewählten Suchergebnissen sah er 20 Titel und die *Abstracts* zu den drei vielversprechendsten darunter durch. Bei weniger als 24 Suchergebnissen sah er alle durch. Ein ^EAnwender wählte nur zufällig Suchergebnisse aus, wenn unter ihnen keine waren, deren Titel die zur Suche genutzten Suchworte enthielten. Die Titel durften zudem keine – für ihn eine Nützlichkeit der Publikation ausschließenden – Worte wie DNA oder Transkription enthalten.
- Zwei ^EStudienteilnehmer reduzierten die Suchergebnisse über eine Spezifizierung der Suchanfrage auf 100 bzw. 20 oder weniger und sahen dann alle Suchergebnisse durch.
- Ein ^EStudienteilnehmer sah jedes x-te Suchergebnis durch – angepasst an die Anzahl Suchergebnisse (mit steigender Anzahl stieg der Wert von x).

³⁸ <http://rechneronline.de/zufallszahlen/>

- Ein ^EStudienteilnehmer sah alle Suchergebnisse zweier abschließender Suchen mit den nützlichsten Suchworten durch.

Drei ^{ES^EA} sahen folgende Vorteile bzw. Gefahren in einigen der von ihnen genutzten Strategien:

- Ein ^EAnwender erachtete ältere Publikationen als nützlicher für die Bionik, da diese Strukturen häufiger nicht auf molekularer Ebene beschreiben.
- Ein ^EStudienteilnehmer sah die Gefahr der Auswahl der durchzusehenden Publikationen anhand ihres Publikationsdatums (x neueste oder x älteste) in einer Reduzierung der Bandbreite resultierender biologischer Lösungen durch mögliche Forschungstrends.
- Ein ^EStudienteilnehmer sah einen Vorteil in einer Auswahl der durchzusehenden Publikationen anhand ihrer Titel in einem höheren Anteil nützlicher Publikationen verglichen mit einer zufälligen Auswahl. In seinem Fall erfolgte die Auswahl anhand der Titel nach der zufälligen Auswahl. Er räumte einen möglichen Einfluss dieser Reihenfolge auf den Vorteil der Auswahl anhand der Publikationstitel ein. Durch das Durchsehen der Titel und *Abstracts* der zufällig ausgewählten Suchergebnisse gewann er Übung bei der Einschätzung von Publikationstiteln. Eine Gefahr bei der Auswahl durchzusehender Publikationen anhand ihrer Titel sah der ^EStudienteilnehmer in einem möglichen Verlust nützlicher Publikationen mit nichtssagendem Titel oder einem nicht in das eigene Suchmuster passenden Titel. Dass von dem Titel einer Publikation nicht auf deren Nützlichkeit geschlossen werden kann bestätigten zwei ^EStudienteilnehmer.

Insgesamt gaben **sechs** ^{ES^EA} an, Titel und *Abstracts* (fünf ^{ES^EA}) bzw. nur die Titel (ein ^EStudienteilnehmer) der ausgewählten Publikationen durchgesehen zu haben. Sieben ^{ES^EA} machten hierzu keine Angabe.

Welche der durchgesehenen Publikationen untersucht wurden, entschieden die ^{ES^EA} auf Basis selbst gewählter Kriterien.

Vier ^EStudienteilnehmer kommentierten das Verwerfen von Publikationen. Verworfen wurden Publikationen,

- in welchen die Suchworte in unbedeutender Form enthalten waren. Beispiele sind Eigennamen oder ein fehlender Bezug des „Suchverbes“ zum „Suchsubstantiv“³⁹ (drei ^EStudienteilnehmer).
- in welchen die Suchworte nicht im Titel enthalten waren (ein ^EStudienteilnehmer). Aus oben genannten Gründen nutzten zwei ^EStudienteilnehmer dieses Kriterium nicht.
- in welchen technische Systeme oder chemische bzw. Selbstheilungsprozesse beschrieben wurden (jeweils ein ^EStudienteilnehmer).

³⁹ Ein Beispiel ist: Der Suchende möchte *Wasser aufnehmen*, in der Publikation wird beschrieben, wie Unterwassergeräusche aufgenommen werden.

Vier ^EStudienteilnehmer kommentierten die Auswahl zu untersuchender Publikationen. Ausgewählt wurden Publikationen, die einen Bezug zum bearbeiteten technischen Problem erkennen ließen und bzw. oder

- eines tieferen Verständnisses bedurften (zwei ^EStudienteilnehmer).
- mindestens ein Wort enthielten, das ein Suchwort oder eine bionische Lösungsidee inspirierte (ein ^EStudienteilnehmer).
- sich für die Entwicklung einer bionischen Lösung eigneten, d. h. eine Beschreibung eines biologischen Systems enthielten, von welchen sich z. B. geeignete Strukturen für das Lösen des technischen Problems ableiten ließen (ein ^EStudienteilnehmer).
- nicht begründet verworfen werden konnten (ein ^EStudienteilnehmer).

Laut eines ^EStudienteilnehmers beschrieben die zu untersuchenden Publikationen idealerweise möglichst viele verschiedene Systeme auf möglichst vielen verschiedenen Ebenen (molekulare bis Ökosystemebene).

Die tabellarische Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer zeigt, dass kein Zusammenhang zwischen Vorkommen oder Häufigkeit eines Suchwortes in Titel oder *Abstract* der aus einer Suche resultierenden Publikationen und deren Nützlichkeit besteht. Einige der nützlichen Publikationen enthalten ein Suchwort nur einmal in Titel oder *Abstract* (Abbildung 6-19).

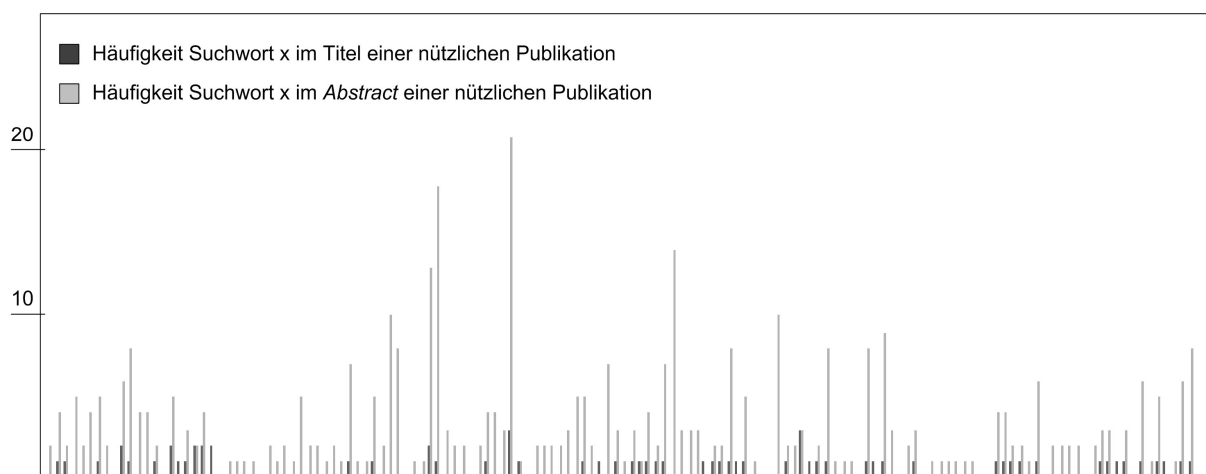


Abbildung 6-19: Häufigkeit eines Suchwortes in Titel oder Abstract einer nützlichen Publikation

Untersuchen von Suchergebnissen

Drei ^{ES^EA} gaben an, die zur Untersuchung ausgewählten Publikationen in jedem Fall (zwei ^{ES^EA}) oder bei Bedarf (ein ^EStudienteilnehmer) komplett gelesen zu haben. Zehn ^{ES^EA} machten hierzu keine Angabe.

Um nützliche Publikationen auszuwählen, bedienten sich die ^{ES^EA} unterschiedlicher Strategien.

Drei ^{ES^EA} kommentierten das Verwerfen von Publikationen. Verworfen wurden Publikationen

- die die von den ^ES^EA festgelegten Ausschlusskriterien (KO-Kriterien) erfüllten (zwei ^EStudienteilnehmer).
- deren Potential zum Lösen des technischen Problems beim Durchsehen fälschlicherweise positiv eingeschätzt wurde (zwei ^EStudienteilnehmer).
- die „eher chemisch umsetzbar“ waren (ein ^EStudienteilnehmer)⁴⁰.

Sieben ^ES^EA gaben an, die Nützlichkeit der verbleibenden Publikationen folgendermaßen bewertet zu haben:

- Vier ^ES^EA nutzten eine Punktbewertung (definiert in Lindemann (2009, S. 269–270)), drei von ihnen eine gewichtete Punktbewertung (definiert in Lindemann (2009, S. 296)).
- Ein ^EStudienteilnehmer bewertete qualitativ (mit z. B. hoch, mittel, gering, etc.).
- Sieben ^ES^EA stellten Bewertungskriterien auf. Zwei von neun dokumentierten Bewertungskriterien wurden von mehr als einem ^ES^EA verwendet: Umsetzbarkeit der biologischen Lösung in die Technik (vier ^EStudienteilnehmer)⁴⁰ und Neuheit der biologischen Lösung bzw. der potentiell daraus ableitbaren technischen Lösung (drei ^EStudienteilnehmer)

Nutzen von Suchergebnissen

Sechs ^ES^EA fanden es notwendig, zur Entwicklung bionischer Lösungsideen weiterführende Informationen zu den nützlichen *PubMed*-Publikationen einzuholen.

- Zwei ^EStudienteilnehmer gaben an, hierfür *PubMed* genutzt zu haben. Ein ^EStudienteilnehmer nutzte die in *PubMed* unter *Similar Articles* angezeigten Querverweise auf die der nützlichen Publikation ähnlichen Publikationen. Ein ^EStudienteilnehmer suchte in *PubMed* auf Basis von älteren nützlichen Publikationen neuere zu dem gleichen Thema und nutzte diese.
- Drei ^ES^EA gaben an, hierfür nicht *PubMed*, sondern folgende andere Quellen genutzt zu haben: das Internet (z. B. *Google* (Google Inc. o. J.a), *AskNature* (Kapitel 3.4.1), etc.) (drei ^ES^EA) und weitere Fachliteratur (ein ^EStudienteilnehmer)

Ein ^EAnwender dokumentierte, einen enormen Aufwand betrieben zu haben, um an weiterführende Informationen zu gelangen.

Zusätzliche zur Lösungssuche genutzte Quellen biologischer Information und Inspiration

Abbildung 6-20 gibt einen Überblick über die Kommentare der ^ES^EA zu zusätzlich zur Lösungssuche genutzten Quellen biologischer Information und Inspiration.

Ein ^EStudienteilnehmer führte zusätzlich zu der in *BIOscrabble* vorgesehenen *PubMed*-Suche eine *PubMed-Bildersuche* in *PubMed Central*® (National Center for Biotechnology Information o. J.b) durch. *PubMed Central*® beinhaltet, im Vergleich zu *PubMed*, „nur“ 3,6 Millionen

⁴⁰ Die Problematik der Einschätzung der technischen Umsetzbarkeit biologischer Lösungen durch die ^ES^EA ist in der Diskussion dieses Kapitels adressiert.

biowissenschaftliche Publikationen, diese allerdings im Volltext. Die *PubMed-Bildersuche* bestand darin, die Nützlichkeit der aus einer Suche resultierenden Publikationen zunächst anhand der in ihnen enthaltenen Abbildungen zu bestimmen.

| ^E S ^E A mit Kommentaren zur Nutzung zusätzlicher Inspirationsquellen | |
|--|----------|
| PubMed-Bildersuche | 1 |
| AskNature | 4 |
| Google Scholar | 2 |
| Google | 1 |

Abbildung 6-20: Kommentare der ^ES^EA zu zusätzlichen Quellen biologischer Information und Inspiration

Auf Abbildungen aus Publikationen, welche in *PubMed Central*® hinterlegt sind, wird unter *PMC images search for* auch bei einer Suche in *PubMed* verwiesen.

Sowohl in *PubMed* als auch in *PubMed Central*® wird nur nach Abbildungen gesucht, wenn eine Suchanfrage keine Booleschen Operatoren enthält (National Center for Biotechnology Information o. J.b, E-Mail-Korrespondenz).

Einen Vorteil der *PubMed-Bildersuche* gegenüber der in *BIOscrabble* vorgesehenen *PubMed*-Suche sah der ^EStudienteilnehmer in

- einer besseren Erfassung biologischer Information ohne biologische Fachkenntnisse (Kapitel 6.2.4, Biologische Publikationen und PubMed – Eignung als Inspirationsquelle)
- einer schnelleren Erfassung biologischer Information. Er gab an, in der gleichen Zeit entweder 20 *Abstracts* oder 200 Bilder durchgesehen zu haben.

Bezüglich der Art der Abbildung hielt der ^EStudienteilnehmer fest, dass Darstellungen biologischer Abläufe die besten Inspirationen lieferten.

Die *PubMed-Bildersuche* ergab vier nützliche biologische Publikationen (Kapitel 14.5.8 des Anhangs).

Abbildung 6-21 zeigt, dass von den nützlichen biologischen Publikationen der ^EStudienteilnehmer weniger als ein Drittel (28%) in *PubMed Central*® hinterlegt sind.

Bei getrennter Betrachtung der ^EStudienteilnehmer wird ersichtlich, dass für das technische Problem der Wasseraufbereitung keine der nützlichen Publikationen in *PubMed Central*® hinterlegt ist. Es gibt kein technisches Problem, für welches alle nützlichen biologischen Publikationen in *PubMed Central*® hinterlegt sind.

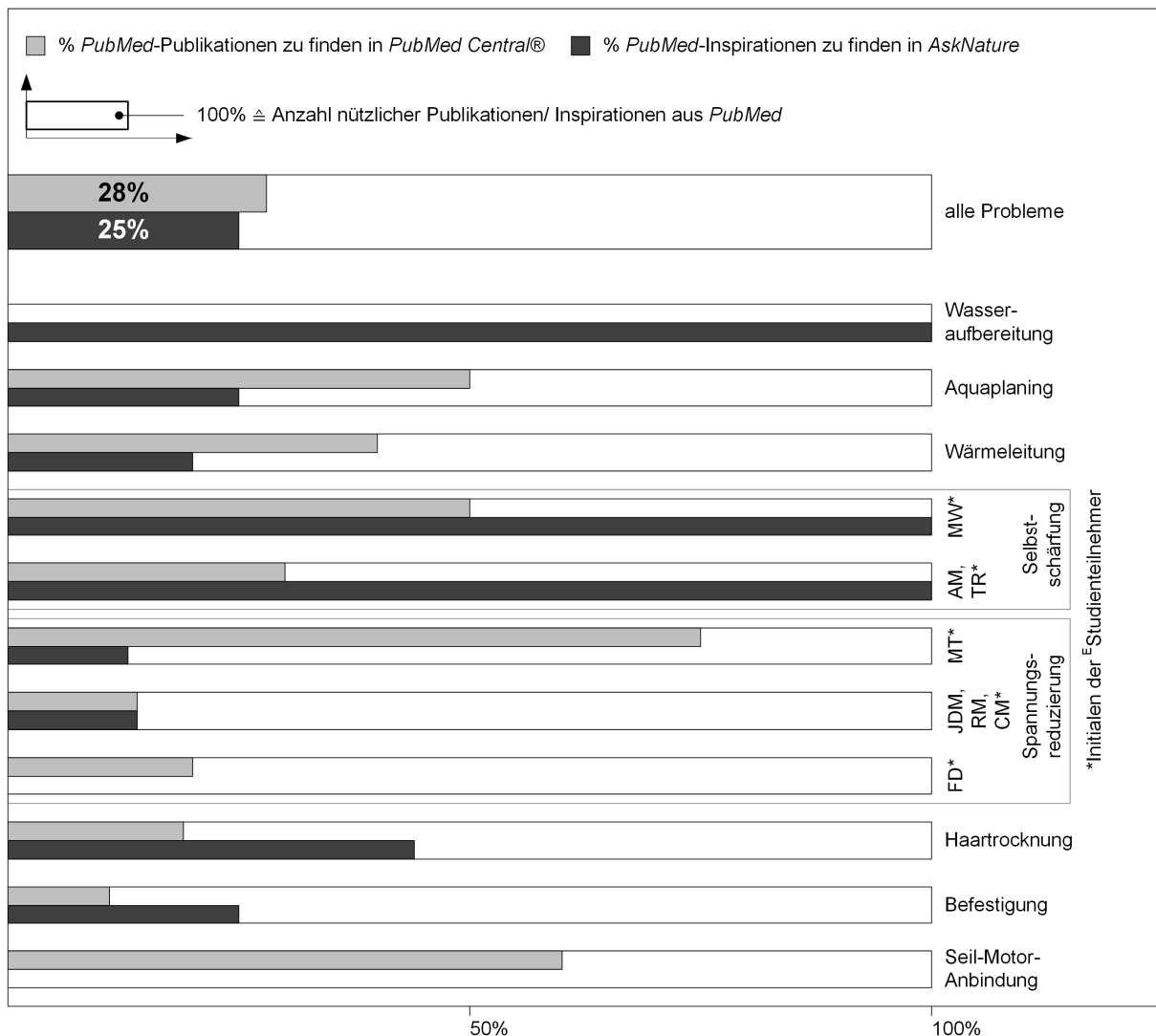


Abbildung 6-21: PubMed-Publikationen bzw. -Inspirationen in PubMed Central® und AskNature

Sechs ^ES^EA nutzten, zusätzlich zu *PubMed*, weitere Quellen biologischer Information, um nach biologischen Lösungen für das bearbeitete technische Problem zu suchen. Drei ^ES^EA gaben an, dass ihnen *PubMed* als Inspirationsquelle hierfür nicht ausreichte.

Vier ^ES^EA nutzten und bewerteten *AskNature* (Kapitel 3.4.1).

- Vier ^ES^EA verstanden die in *AskNature* hinterlegte biologische Information besser als die in den *PubMed*-Publikationen bzw. konnten diese besser extrahieren oder nutzen.
- Zwei ^EStudienteilnehmer stellten heraus, dass die in *AskNature* hinterlegte biologische Information mit vielen Abbildungen versehen ist.
- Zwei ^EStudienteilnehmern reichte die in *AskNature* hinterlegte biologische Information nicht aus. Sie bemängelten das im Vergleich zu *PubMed* häufigere Fehlen von Sucher-

gebnissen zu einer Suchanfrage, v. a. bei der Suche nach mehreren gleichzeitig vorkommenden Suchworten. Ein ^EStudienteilnehmer stellte heraus, dass die Wahl der Suchworte einen stärkeren Einfluss auf die Anzahl an Suchergebnissen hat als bei *PubMed*.

- Ein ^EStudienteilnehmer stellte fest, dass die im Vergleich zu *PubMed* niedrigere Anzahl Suchergebnisse ein Durchsehen aller Suchergebnisse in vertretbarer Zeit möglich machte und der Anteil der Suchergebnisse mit nützlicher biologischer Information an der Gesamtheit an Suchergebnissen zudem höher war als bei einer Suche in *PubMed*.

Abbildung 6-21 zeigt, dass von den Inspirationen, die von den ^EStudienteilnehmern für die Entwicklung ihrer bionischen Lösungsideen genutzt wurden, nur knapp ein Drittel (33%) auch in *AskNature* zu finden waren (die Inspirationen sowie Suchdetails sind Kapitel 14.6 des Anhangs zu entnehmen).

Bei getrennter Betrachtung der ^EStudienteilnehmer wird ersichtlich, dass drei ^EStudienteilnehmer (technisches Problem Wasseraufbereitung: ein ^EStudienteilnehmer, technisches Problem Selbstschärfung: zwei ^EStudienteilnehmer) die Systeme, welche die Entwicklung ihrer bionischen Lösungsideen inspirierten, auch in *AskNature* hätten finden können. Die die bionischen Lösungsideen inspirierenden Systeme von zwei ^EStudienteilnehmern (technisches Problem Spannungsreduzierung: ein ^EStudienteilnehmer (FD), technisches Problem: Seil-Motor-Anbindung: ein ^EStudienteilnehmer) waren in *AskNature* nicht zu finden. Bei den übrigen ^EStudienteilnehmern waren in *AskNature* weniger als die Hälfte der Inspirationen zu finden.

Zwei ^{ES}E nutzten *Google Scholar* (Google Inc. o. J.b). *Google Scholar* ist eine webbasierte Suchmaschine für die Suche nach wissenschaftlicher Literatur im Allgemeinen.

- Ein ^EStudienteilnehmer stellte fest, dass sehr präzise Suchanfragen nötig waren, um die Anzahl an Suchergebnissen auf ein Maß zu reduzieren, welches eine Extraktion nützlicher biologischer Publikationen möglich machte. Eine Nutzung von Suchworten aus der Biologie reduzierte die Anzahl an Suchergebnissen nicht wesentlich. Bei einer Kombination der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* enthielten die Suchergebnisse neben der Biologie zu viele verschiedene andere Themen.
- Ein ^EAnwender wiederholte eine *PubMed*-Suche in *Google Scholar*. Er erhielt, statt 12 biologischen Publikationen bei *PubMed*, 17.000 Suchergebnisse zu verschiedenen Themen bei *Google Scholar*.

Ein ^EStudienteilnehmer nutzte *Google* (Google Inc. o. J.a). *Google* ist eine nicht auf bestimmte Inhalte spezialisierte, webbasierte Suchmaschine. Im Fall des ^EStudienteilnehmers half *Google*, den Grad der Nützlichkeit der nützlichen *PubMed*-Publikationen zu überprüfen. Die nützlicheren Informationen zu einigen der in *PubMed* gefundenen Systeme beinhalteten dennoch die dazugehörigen *PubMed*-Publikationen selbst.

Diskussion der Ergebnisse

Die von den ^EStudienteilnehmern entwickelten bionischen Lösungsideen sowie die Ergebnisse für den *BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen* weisen stark darauf hin, dass biologische Publikationen eine gute und von Ingenieuren nutzbare, aber auch herausfordernde Quelle unterschiedlicher Inspiration für die Entwicklung bionischer Lösungsideen sind.

Die Arbeit mit biologischen Publikationen wurde als kreativitätssteigernd und -fördernd empfunden.

Eine Notwendigkeit, bei der Entwicklung bionischer Lösungsideen auf Basis biologischer Publikationen kreativ⁴¹ und geistig beweglich zu sein, d. h. in ungewohnte Richtungen zu denken, stellte auch die Studienleiterin während der Durchführung der Studie fest. Publikationen aus dem biomedizinischen oder dem molekular- bis zellbiologischen Bereich wurden oft aussortiert, bevor deren Inhalt auf mögliche Inspirationen hin geprüft wurde. Im Vergleich zu Publikationsinhalten auf Organ- oder höherer Ebene, schienen die, den ^EStudienteilnehmern fremderen, Publikationsinhalte im molekular- bis zellbiologischen Bereich dazu zu berechtigen, deren Nützlichkeit schon aufgrund einzelner, in ihnen enthaltener Worte wie DNA auszuschließen. Eine mögliche schwere Verständlichkeit molekular- bis zellbiologischer Publikationen verstärkte dieses Verhalten eventuell.

Wo sie nicht aussortiert wurden, waren Forschungsergebnisse im Bereich der Molekularbiologie bzw. DNA durchaus dafür nützlich, bionische Lösungsideen zu inspirieren (Kapitel 14.5 des Anhangs).

Prinzipiell ist ein Aussortieren von Publikationen aufgrund ungeläufiger Inhalte oder Verständnisschwierigkeiten unbedingt zu vermeiden, da so einer der großen Vorteile der Nutzung biologischer Publikationen für die Entwicklung bionischer Lösungsideen verloren geht – die Fülle verschiedener und eventuell neuer, ungenutzter biologischer Lösungen auf molekularer wie auf Ökosystemebene.

Schwierigkeiten kreativ und in ungewohnte Richtungen zu denken, spiegeln sich auch in den von den ^ES^EA genannten Herausforderungen bei der Nutzung biologischer Publikationen und *PubMed* für die Entwicklung bionischer Lösungsideen wider. Diese oder Schwierigkeiten bei der Nutzung biologischer textueller Information ohne aussagekräftige Abbildungen können durch Übung reduziert werden. Die Studienleiterin stellte fest, dass sich bei vielen ^EStudienteilnehmern innerhalb kurzer Zeit ein positiver Lerneffekt im Umgang mit und der Nutzung von biologischen Publikationen einstellte.

Herausforderungen, welchen schwer mit Übung begegnet werden kann, sind die große Anzahl der in *PubMed* hinterlegten – und möglicherweise aus einer Suche resultierenden – biologischen Publikationen sowie der damit verbundene Zeitaufwand, Inspiration für ein gegebenes technisches Problem aus diesen zu extrahieren. Kapitel 12 zeigt eine Möglichkeit, sich diesen Herausforderungen anzunehmen.

⁴¹ Eine für diese Arbeit relevante Definition von Kreativität ist in Kapitel 3.1.2 gegeben.

Einige ^ES^EA hatten laut eigener Aussage Schwierigkeiten mit dem Verstehen der gefundenen *PubMed*-Publikationen. Da *PubMed*-Publikationen für ihr jeweiliges Fachpublikum geschrieben werden, ist dies nicht ungewöhnlich. Die ^EStudienteilnehmer mit der Muttersprache englisch äußerten keine Verständnisschwierigkeiten; es ist also möglich, dass die von den ^ES^EA mit der Muttersprache deutsch vermerkte schwere Verständlichkeit der Publikationen auch damit zusammenhängt, dass die Publikationsinhalte nicht in ihrer Muttersprache zur Verfügung standen. Ungeachtet der Verständnisschwierigkeiten sprechen die in Kapitel 5.1.4 genannten Gründe, insbesondere die Bedeutung unklarer Stimuli für die Entwicklung neuartiger Produktideen, sowie die in der Studie entwickelten bionischen Lösungsideen, für die Nutzung biologischer Publikationen als Inspirationsquelle für das Lösen technischer Probleme. Hinzu kommt, dass ein oberflächliches Verstehen biologischer Publikationen für eine Entwicklung bionischer Lösungsideen ausreichen kann.

Die ^ES^EA entwickelten unterschiedliche Strategien mit *PubMed* zu arbeiten.

Eine Nutzung der in *PubMed* angebotenen Filter ist kritisch zu betrachten. Ein überwiegender Teil der Filter schränkt den durch die in *PubMed* hinterlegten Publikationen aufgespannten Lösungsraum ohne Betrachtung der Publikationsinhalte ein. Der Hinweis der ^EStudienteilnehmer, jede Suche mit keinen oder nur wenigen Filtern zu beginnen, ist daher durchaus sinnvoll. Der Filter *Text Availability: Abstract* ist ein Filter, dessen Nutzung auch zu Beginn einer Suche Sinn macht. Suchergebnisse, für die kein *Abstract* vorhanden ist, inspirieren (über ihren Titel) mit geringerer Wahrscheinlichkeit zu bionischen Lösungsideen als Suchergebnisse mit vorhandenem *Abstract* (Kapitel 6.2.4). Am sinnvollsten erscheint eine Filterung der Suchergebnisse über Boolesche Operatoren, da hier entsprechend des betrachteten technischen Problems gefiltert wird (Kapitel 6.2.1 und 6.2.2).

Eine kritische Betrachtung des eigenen Vorgehens ist auch beim Sortieren von Suchergebnissen sinnvoll. Werden die durchzusehenden Suchergebnisse nicht zufällig ausgewählt, sondern richtet sich die Auswahl nach der Reihenfolge, in der *PubMed* die Ergebnisse anzeigt (z. B. Auswahl der ersten x Suchergebnisse), besteht bei einer Sortierung nach dem Publikationsdatum (*Sort by: Most Recent*) z. B. die Gefahr, nützliche Publikationen zu Themen zu verlieren, welche zu dem betrachteten Zeitraum nicht Forschungstrend waren. Verstärkt wird die Gefahr des Ausgrenzens von Themen bei einer Sortierung der Suchergebnisse nach z. B. Autor oder Zeitschrift (*Sort by: Author* oder *Journal*). Sowohl Autoren als auch Zeitschriften sind häufig auf wenige Themen spezialisiert.

Sinn machen die genannten Sortierungen für das Einholen weiterer Informationen zu bereits als nützlich erachteten Publikationen oder wenn angestrebt wird, Suchergebnisse z. B. eines bestimmten Zeitraumes oder einer bestimmten Zeitschrift durchzusehen.

Das Durchsehen von Suchergebnissen hängt eng mit dem Sortieren von Suchergebnissen zusammen – auch hier gilt: werden die ersten (oder letzten) x Suchergebnisse durchgesehen, muss die Sortierung so gewählt werden, dass die Gefahr reduziert wird, Publikationsthemen zu verlieren. Eine themenneutrale Sortierung ist z. B. eine Sortierung nach Relevanz (*Sort by: Relevance*).

Am wenigsten durch die Sortierung der Suchergebnisse beeinflusst werden eine zufällige Auswahl der durchzusehenden Suchergebnisse, ein Durchsehen jedes x-ten Suchergebnisses und

ein Durchsehen jedes Suchergebnisses. Ein Durchsehen jedes Suchergebnisses ist nur für eine begrenzte Anzahl Suchergebnisse praktikabel.

Eine Auswahl der durchzusehenden Suchergebnisse anhand ihrer Titel ist sehr kritisch zu betrachten. Zum einen erlaubt nicht jeder Publikationstitel eine Aussage über den Inhalt einer Publikation, zum anderen ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass Ingenieure ohne biologisches Fachwissen, nicht in der Lage sind, von dem Titel einer Publikation auf deren Nützlichkeit zu schließen.

Selbiges gilt für die Auswahl von durchgesehenen Suchergebnissen für eine Untersuchung.

Eine Möglichkeit, über die potentielle Nützlichkeit eines Suchergebnisses und so über dessen Auswahl für eine Untersuchung zu entscheiden, ist, die Verwendung der zur Suche genutzten Suchworte in Titel und *Abstract* der resultierenden Publikationen zu betrachten. Ist ein Suchwort z. B. nur als Eigenname enthalten oder ist ein Bezug zu dem betrachteten technischen Problem auszuschließen (fiktives Beispiel: das Problem ist, Wasser aufzunehmen, die Publikation behandelt die Aufnahme von Unterwassergeräuschen), ist die Wahrscheinlichkeit gering, dass die Publikation zu einer bionischen Lösungsidee inspiriert. Letzteres beobachteten Hacco und Shu (2002, S. 41–42) auch für die Suche nach biologischen Lösungen in einem Biologielehrbuch.

Ein Betrachten der Häufigkeit der Suchworte in Titel und *Abstract* einer Publikation scheint keine Schlüsse auf deren Nützlichkeit zuzulassen, zumal diese u. a. von der Länge des Titels bzw. *Abstracts* abhängt.

Prinzipiell empfiehlt es sich, Suchergebnisse so lange weiterzuverfolgen, bis eine fehlende Nützlichkeit möglichst sicher ist. Auch einzelne, in den Suchergebnissen enthaltene Worte können nützlich sein – sei es als Suchworte oder als Ausgangspunkt für eine Recherche zu einem biologischen System. Wie für Suchworte (Kapitel 6.2.1) gilt auch für Suchergebnisse, diese so lange wie möglich so verschiedenartig wie möglich zu halten, um eine Fixierung auf einzelne, in wenigen Publikationen adressierte Themen zu vermeiden (vgl. Jansson und Smith (1991)).

KO-Kriterien sind eine gute Möglichkeit aus den untersuchten Suchergebnissen die nicht nützlichen auszusortieren. Bei der Wahl der KO-Kriterien ist allerdings unbedingt darauf zu achten, dass diese auf Basis des betrachteten technischen Problems und nicht auf Basis von Publikationsthemen formuliert werden. Eine möglicherweise schwierige Umsetzung molekularbiologischer Prozesse, wie z. B. Selbstheilungsprozesse, schließt deren Inspiration zu einer bionischen Lösungsidee nicht aus.

Selbiges gilt für Kriterien zur Bewertung der Nützlichkeit untersuchter Suchergebnisse in z. B. qualitativen Bewertungen oder Punktbewertungen. Die Studienleiterin stellte fest, dass nützliche biologische Lösungen zuerst oft nicht weiterverfolgt wurden, weil keine einfache technische Umsetzung ins Auge fiel.

Die Tatsache, dass es etwa die Hälfte der ^ESE notwendig fand, weiterführende Informationen zu den nützlichen *PubMed*-Publikationen einzuholen, unterstützt die Aussage eines ^EStudienteilnehmers, *PubMed* biete durch das Aufzeigen biologischer Lösungen einen guten Ausgangspunkt zur Entwicklung bionischer Lösungsideen.

Ist eine biologische Lösung bekannt, ist das Ziel der Nutzung biologischer Publikationen für die Lösungssuche in der Bionik erreicht – die umfassende Bereitstellung auch aktueller biologischer Information. Es spricht nichts gegen eine Vertiefung dieser Information mit Hilfe weiterer, „nicht-*PubMed*“ Quellen.

Als für die Lösungssuche in der Bionik zu Beginn genutzte Quelle bot *PubMed* als Bezugsquelle biologischer Publikationen in dieser Studie Vorteile gegenüber den zusätzlich betrachteten Quellen – *PubMed Central*®, *AskNature*, *Google Scholar* und *Google*. In diesen Quellen war entweder biologische Information aus *PubMed*, die den ^EStudienteilnehmern für die Lösungsentwicklung nutzte, nicht hinterlegt (*PubMed Central*®, *AskNature*, *Google*) oder es war so viel biologische und nicht biologische Information hinterlegt, dass potentiell nützliche Information nur sehr schwer (schwerer als in *PubMed*) von nicht nützlicher Information getrennt werden konnte (*Google Scholar*).

PubMed Central® und *AskNature* boten gegenüber *PubMed* Vorteile in einer besseren Verständlichkeit und einer schnelleren Erfassung bzw. übersichtlicheren Menge der hinterlegten biologischen Information.

Insgesamt lässt sich Folgendes festhalten:

Biologische Publikationen können für Ingenieure eine gute Inspirationsquelle bei der Entwicklung bionischer Lösungsideen sein – trotz inhärenter Herausforderungen. Wichtig für die Ausschöpfung ihres Potentials ist Kreativität und geistige Beweglichkeit auf Seiten des Nutzers. Die Studie ergab unterschiedliche, potentiell nützliche Strategien, biologische Inspiration für technische Probleme aus *PubMed*-Publikationen zu ziehen. Die in der Studie zum Vergleich herangezogenen Quellen biologischer Publikationen konnten *PubMed* dort nicht ersetzen, können aber eine wertvolle Ergänzung zu *PubMed* darstellen.

7. Quantitative Erfolgsevaluation des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortarten*

Dieses Kapitel beschreibt die Evaluation eines Aspekts des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortarten* in einem quantitativen Fokusexperiment mit Studierenden des Maschinenwesens und wissenschaftlichen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Produktentwicklung der Technischen Universität München. Evaluiert wird, ob es, vorteilhaft ist – d. h. in *PubMed* mehr unterschiedliche oder mehr thematisch unterschiedliche biologische Publikationen gefunden werden – wenn zur Lösungssuche Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* genutzt werden anstelle von Suchworten nur der Suchwortart *Funktion*. Dies ging aus der Qualitativen Studie nicht hervor. Es werden der Aufbau sowie die Ergebnisse des Experiments illustriert.

Der Fokus der Evaluation liegt auf dem Potential der betrachteten Suchwortarten, bei einer Suche nach Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen einen möglichst großen Lösungsraum aufzuspannen. Aspekte der Handhabbarkeit bzw. Nutzung der Anzahl gefundener Lösungen und der gegebenenfalls dafür notwendigen Wiedereinschränkung des Lösungsraums sind Gegenstand der qualitativen Studie (Kapitel 6).

7.1 Aufbau des Experiments

Kapitel 7.1 beschreibt den Aufbau des quantitativen Fokusexperiments. Beschrieben werden die Versuchsteilnehmer, deren Aufgabe, der zeitliche und örtliche Rahmen für die Bearbeitung der Aufgabe, die Rolle der Versuchsleiterin sowie das untersuchte Material und dessen Auswertung.

7.1.1 Teilnehmer

An dem Experiment nahmen – stellvertretend für Ingenieure – 28 Studierende des Maschinenwesens bzw. wissenschaftliche Mitarbeiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung der Technischen Universität München teil. Die Studierenden befanden sich im mindestens zweiten Studienjahr. Keiner der Versuchsteilnehmer hatte Fachkenntnisse im Bereich Bionik oder Biologie.

Die Versuchsteilnehmer wurden entweder der Kontrollgruppe oder der Versuchsgruppe zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte zufällig unter Berücksichtigung der zeitlichen Präferenz der Versuchsteilnehmer und der Bedingung in Kontroll- und Versuchsgruppe die gleiche Anzahl Studierender bzw. Mitarbeiter zu haben.

Die Teilnehmer arbeiteten alleine.

7.1.2 Aufgabe und zeitlicher sowie örtlicher Rahmen

Aufgabe der Versuchsteilnehmer war es, Suchworte für zwei Lösungssuchen in der Biologie für zwei technische Probleme zu generieren.

Die Aufgabenstellung lautete:

„Du möchtest in der Biologie nach Lösungen für 2 technische Probleme suchen. Notiere Suchworte von denen Du denkst, dass Sie Dir dabei helfen, biologische Texte zu finden, die Dich zu einer Lösung Deines Problems inspirieren. Achte darauf, möglichst unterschiedliche Suchworte zu notieren, um möglichst viele unterschiedliche Lösungen zu finden.“

Die Beschreibungen der gegebenen technischen Probleme lauteten:

1. „Finde eine Möglichkeit, ein Geschenk so zu verpacken, dass es beim Transport zu seinem Empfänger sicher vor äußeren Einflüssen geschützt ist.“
2. „Finde eine Möglichkeit, einen großen Vorrat an Getränken durch die Sahara zu transportieren und dabei möglichst wenig Kraft aufzuwenden.“

Die generierten Suchworte waren in Englisch abzugeben. Als Hilfsmittel waren analoge sowie digitale Übersetzungshilfen (Deutsch – Englisch) zugelassen.

Die Zeit für das Generieren der Suchworte betrug insgesamt 30 Minuten – 15 Minuten pro technisches Problem. Der Ort der Bearbeitung war der Lehrstuhl für Produktentwicklung.

Der Unterschied zwischen den Aufgabenstellungen für Kontroll- und Versuchsgruppe bestand in der Art der zu generierenden Suchworte.

Die Kontrollgruppe wurde aufgefordert, Suchworte der Suchwortart *Funktion* zu generieren und zu notieren. Die Versuchsteilnehmer bekamen die für *BIOscrabble* festgelegte Definition einer *Funktion* (Kapitel 5.1.2) sowie Beispiele für Suchworte der Suchwortart *Funktion*.

Die Versuchsgruppe wurde aufgefordert, Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* zu generieren und zu notieren. Die Versuchsteilnehmer bekamen die für *BIOscrabble* festgelegten Definitionen einer *Funktion*, einer *Eigenschaft* und der *Umwelt* (Kapitel 5.1.2) sowie Beispiele für Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt*.

Die den Versuchsteilnehmern zur Verfügung gestellte Fassung der zu bearbeitenden Aufgabe sowie der für *BIOscrabble* festgelegten Definitionen einer *Funktion*, einer *Eigenschaft* und der *Umwelt* finden sich in Kapitel 14.7 des Anhangs.

7.1.3 Rolle der Versuchsleiterin

Die Versuchsleiterin (die Autorin dieser Arbeit) trug die Aufgabenstellung, ein Beispiel für die für die jeweilige Gruppe Versuchsteilnehmer (Kontroll- bzw. Versuchsgruppe) relevante Suchwortart bzw. relevanten Suchwortarten sowie die Beschreibungen der gegebenen technischen Probleme vor (die dazugehörigen Folien finden sich in Kapitel 14.7 des Anhangs).

Die den Versuchsteilnehmern von der Versuchsleiterin ausgegebenen Definitionen der relevanten Suchwortarten sowie die ausgegebenen Formblätter zum Notieren der von den Versuchsteilnehmern im Experiment generierten Suchworte (Kapitel 14.7 des Anhangs) wurden nicht vorgelesen.

Die Versuchsteilnehmer bearbeiteten ihre Aufgabe selbstständig. Sie wurden während des Experiments von der Versuchsleiterin lediglich beaufsichtigt.

7.1.4 Untersuchtetes Material und Auswertung des Materials

Das für die Auswertung des Experiments untersuchte Material waren die oben genannten Formblätter mit den von den Versuchsteilnehmern notierten generierten und favorisierten Suchworten für die gegebenen technischen Probleme. Die favorisierten Suchworte waren auf den Formblättern gesondert zu notieren und, für die Versuchsgruppe, unabhängig von der Suchwortart, welcher sie vorher zugeordnet wurden.

Die Auswertung des Materials erfolgte durch die Versuchsleiterin. Ausgewertet wurden die Teamergebnisse von Kontroll- und Versuchsgruppe.

Es wurden nur die drei von den Versuchsteilnehmern favorisierten Suchworte ausgewertet. Der Hauptgrund hierfür war, den Einfluss der Übersetzungshilfen (im Sinne von mehr oder weniger angebotenen Übersetzungen eines Wortes) gering zu halten. Die favorisierten Suchworte der Versuchsteilnehmer sind Kapitel 14.8 des Anhangs zu entnehmen.

Ist im Folgenden von favorisierten Suchworten die Rede, sind zueinander unterschiedliche favorisierte Suchworte gemeint. Ein Suchwort, welches innerhalb einer Gruppe und eines Problems von mehreren Teilnehmern favorisiert wurde, wurde innerhalb dieser Gruppe und dieses Problems nicht mehrmals zur Lösungssuche in der Biologie verwendet. Der Grund ist, dass es keine Auswirkung auf die Suchergebnisse hat, wenn eine Suchanfrage das gleiche Wort mehr als einmal enthält.

Wie für die Auswertung der qualitativen Studie wurde die Zuordnung der favorisierten Suchworte zu den Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* durch die Versuchsleiterin überprüft und gegebenenfalls berichtigt (Kapitel 6.2.2).

Die von einer Gruppe favorisierten Suchworte wurden für die Suche in der Biologie in einer Suchanfrage für diese Gruppe zusammengefasst. Zur Verknüpfung der einzelnen Suchworte wurde der Boolesche Operator *OR* verwendet. Verglichen mit einer Suche mit einzelnen Suchworten bestand so die Möglichkeit, Publikationen zu priorisieren (über eine Sortierung der Suchergebnisse nach Relevanz (Kapitel 6.2.4)), die mehr als eines der favorisierten Suchworte enthalten. Die Annahme war, dass diese Publikationen mit höherer Wahrscheinlichkeit nützlich für das betrachtete technische Problem sind als Publikationen, die nur eines der favorisierten Suchworte enthalten. Die Annahme wurde auf Basis der Erkenntnis aus der qualitativen Anwendungsevaluation getroffen, dass nützliche Publikationen häufiger über Suchanfragen gefunden wurden, die das Vorkommen verschiedener Suchworte in den Suchergebnissen bedingen (Verknüpfung der Suchworte mit dem Booleschen Operator *AND*) (Kapitel 14.4 des Anhangs)⁴². Mit den Suchanfragen jeder Gruppe wurde nach biologischen Publikationen in *PubMed* gesucht.

Von den aus den Suchanfragen für Kontroll- und Versuchsgruppe resultierenden *PubMed*-Publikationen sind für die Auswertung des Fokusexperiments deren Gesamtzahl (Kapitel 7.2) und

⁴² Eine Verknüpfung der von den Versuchsteilnehmern einer Gruppe favorisierten Suchworte über *AND* wurde hier nicht vorgenommen. Der Grund war die hohe Wahrscheinlichkeit, durch die relativ hohe Anzahl Suchworte das Erhalten vieler verschiedener Publikationen durch ein drastisches Reduzieren der Suchergebnisse zu verhindern; tatsächlich wurde die Anzahl der aus *PubMed* resultierenden Suchergebnisse durch eine Verknüpfung der Suchworte über *AND* auf null reduziert.

– aus nachfolgend genanntem Grund – die Publikationsdetails von 1000 *PubMed*-Publikationen jeder Suchanfrage relevant (Kapitel 14.9 des Anhangs).

Die Anzahl der aus den biologischen Publikationen der durchgeführten *PubMed*-Suchen (vier Suchen: Kontroll- und Versuchsgruppe, jeweils Probleme eins und zwei) resultierenden Themen wurde in erster Näherung über ein Clustern der Publikationen mit mindestens einem gemeinsamen Autor, ein Clustern der Publikationen einer Zeitschrift und ein Übereinanderlegen dieser beiden Cluster ermittelt. Das Clustern erfolgte mit Hilfe des Datenanalyseprogramms *Soley Studio* (Soley GmbH o. J.). Aus praktischen Gründen wurden nur die relevantesten (Sortierung in *PubMed*: *Sort by: Relevance*) 1000 Suchergebnisse der durchgeführten Suchen geclustert. Auch, wenn von dieser Stichprobe nicht auf die Gesamtzahl Suchergebnisse geschlossen werden kann, können Hinweise darauf gewonnen werden, wie thematisch verschieden (oder ähnlich) die Suchergebnisse sein können und wie gut deren Themenvielfalt über die genutzten Cluster repräsentiert werden kann.

7.2 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse des Experiments

Dieses Kapitel stellt die Ergebnisse des Experiments dar. Nach der Darstellung allgemeiner Ergebnisse werden die Ergebnisse für die technischen Probleme *Verpacken* und *Transportieren* dargestellt. Die Ergebnisse werden abschließend gemeinsam diskutiert.

Darstellung der Ergebnisse

Die allgemeinen Versuchsergebnisse sowie die Versuchsergebnisse für Kontroll- und Versuchsgruppe für die technischen Probleme *Verpacken* (Problem eins) und *Transportieren* (Problem zwei) sind im Folgenden dargestellt.

Allgemeine Ergebnisse

Weder das Clustern der Publikationen mit mindestens einem gemeinsamen Autor noch das Clustern der Publikationen einer Zeitschrift noch ein Übereinanderlegen dieser beiden Cluster führte zu einer repräsentativen Darstellung der Themenvielfalt der Suchergebnisse. Entweder sind durch ein Cluster mehrere Themen repräsentiert oder ein Thema durch mehrere Cluster.

Als am aussagekräftigsten für die Ermittlung der Anzahl thematisch unterschiedlicher Publikationen erwies sich das Clustern von Publikationen einer Zeitschrift.

Das Übereinanderlegen von Autorenclustern und Zeitschriftenclustern führte zu Clustern, die Zeitschriften mit sehr unterschiedlichen Themenschwerpunkten beinhalteten. Dies machte diese Cluster zum einen ungeeignet für die Ermittlung thematisch unterschiedlicher Publikationen, zum anderen stellte es die Eignung von Autorenclustern für selbiges in Frage. Einige der betrachteten Autoren publizierten zu unterschiedlichen Themen.

Im Folgenden werden demzufolge nur die Clusterergebnisse der Zeitschriftencluster dargelegt.

Ergebnisse für das technische Problem Verpacken

Für das technische Problem *Verpacken* beinhalteten die von der Kontrollgruppe favorisierten Suchworte 24 Suchworte der Suchwortart *Funktion*, die von der Versuchsgruppe favorisierten Suchworte 12 Suchworte der Suchwortart *Funktion*, elf Suchworte der Suchwortart *Eigenschaft*

und fünf Suchworte der Suchwortart *Umwelt* – also insgesamt 28 Suchworte der drei Suchwortarten. Die von der Versuchsgruppe favorisierten Suchworte beinhalteten also vier Suchworte mehr als die der Kontrollgruppe (Kapitel 14.8 des Anhangs).

Für die Kontrollgruppe ergab die aus ihren favorisierten Suchworten generierte Suchanfrage

cover OR protect OR preserve OR insulate OR repel OR cushion OR encase OR shroud OR pack OR contain OR wrap OR coat OR be stored OR perfect OR fill OR stabilize OR seal up OR shield OR secure OR absorb OR save OR recycle OR isolate OR encapsulate

657.869 biologische Publikationen (Abbildung 7-1).

Für die Versuchsgruppe ergab die aus ihren favorisierten Suchworten generierte Suchanfrage

cover OR secure OR loss OR protect OR transportable OR damage OR unbreakable OR changing environment OR wrap OR resistant OR protection OR store OR absorb OR insulate OR robust OR seal OR allow transport OR removable OR packing OR beautiful OR package OR safe OR opaquely OR view OR portable OR dissipate OR deformable OR humidity

2.455.308 biologische Publikationen – also fast viermal so viele wie die der Kontrollgruppe (Abbildung 7-1).

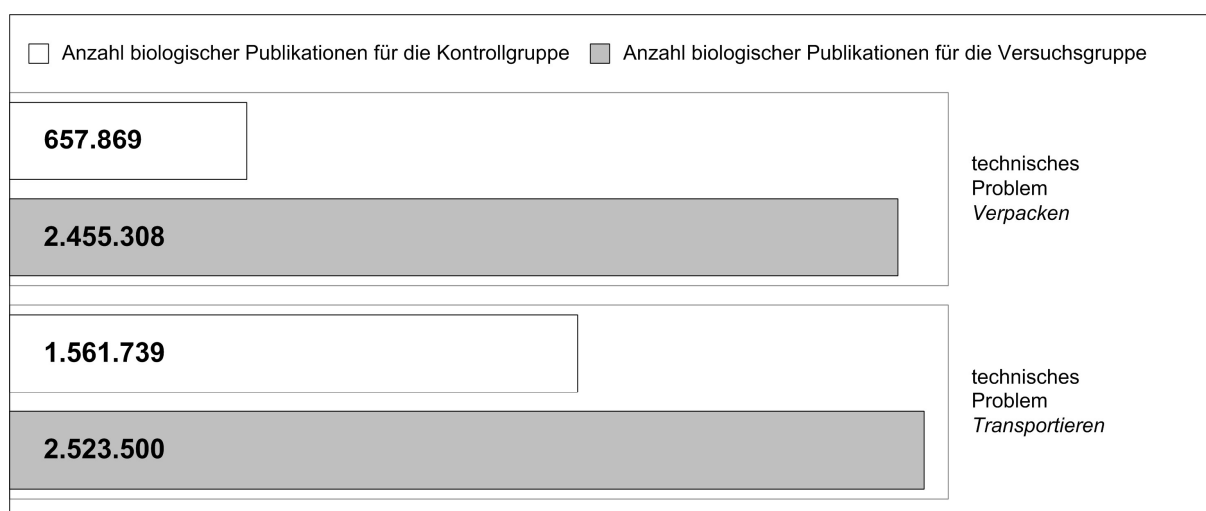


Abbildung 7-1: Anzahl aus PubMed resultierender biologischer Publikationen für Kontroll- und Versuchsgruppe

Bei Betrachtung der relevantesten 1.000 Suchergebnisse für die Suchanfragen für Kontroll- und Versuchsgruppe ergab sich für die Anzahl der in den daraus resultierten biologischen Publikationen enthaltenen unterschiedlichen Themen – in erster Näherung ermittelt über die aus den Publikationen gebildeten Zeitschriftencluster – folgendes Bild:

Die Anzahl der gebildeten Zeitschriftencluster war für Kontroll- und Versuchsgruppe geringfügig unterschiedlich. Für die Kontrollgruppe entstanden 608 Cluster, für die Versuchsgruppe 573.

Hinsichtlich der Zeitschrift waren 212 Cluster für Kontroll- und Versuchsgruppe gleich.

Die Cluster enthielten 101 identische Publikationen.

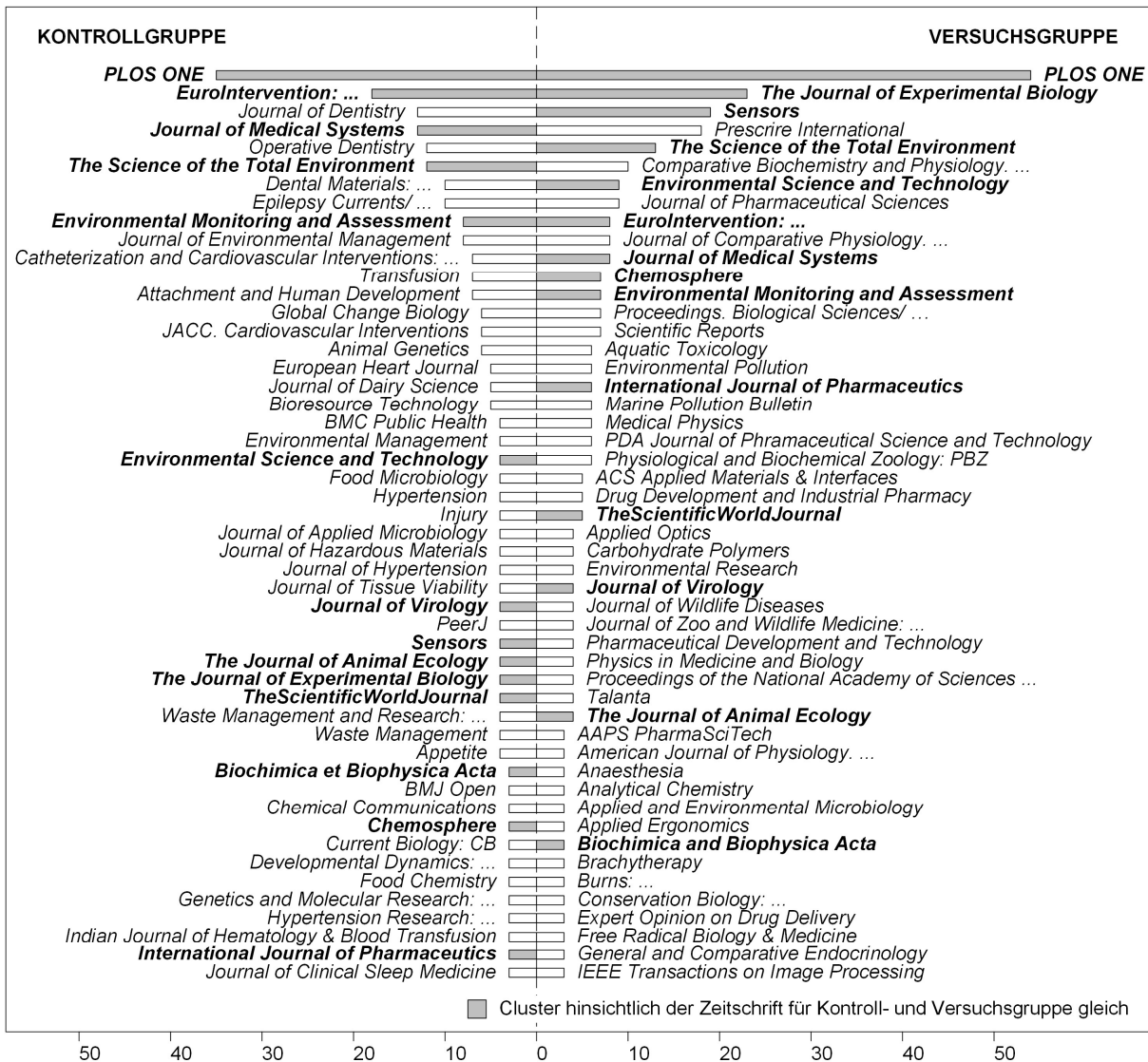


Abbildung 7-2: Zeitschriftencluster für Kontroll- und Versuchsgruppe für das technische Problem Verpacken

Abbildung 7-2 zeigt exemplarisch Größe und Namen⁴³ der jeweils 50 größten Cluster sowie die innerhalb dieser für Kontroll- und Versuchsgruppe hinsichtlich der Zeitschrift gleichen Cluster.

Die meisten biologischen Publikationen waren für Kontroll- und Versuchsgruppe in dem Cluster bzw. der Zeitschrift *PloS one* enthalten. *PloS one* ist eine multidisziplinäre, frei zugängliche Zeitschrift, die in den Bereichen Naturwissenschaft und Medizin veröffentlicht. Ein spezielles Themengebiet ist dieser Zeitschrift nicht zuzuordnen.

Auch sonst lag innerhalb beider Gruppen eine breite Streuung der Themen vor, zu denen die durch die Cluster repräsentierten Zeitschriften veröffentlichten.

⁴³ Die Namen der Cluster entsprechen den Namen der Zeitschriften, welche sie repräsentieren.

14 Cluster waren hinsichtlich der Zeitschrift für Kontroll- und Versuchsgruppe gleich.

Ergebnisse für das technische Problem Transportieren

Für das technische Problem *Transportieren* beinhalteten die von der Kontrollgruppe favorisierten Suchworte 26 Suchworte der Suchwortart *Funktion*, die von der Versuchsgruppe favorisierten Suchworte 29 Suchworte der Suchwortarten *Funktion* (neun Suchworte), *Eigenschaft* (14 Suchworte) und *Umwelt* (sechs Suchworte). Die von der Versuchsgruppe favorisierten Suchworte beinhalteten also drei Suchworte mehr als die der Kontrollgruppe (Kapitel 14.8 des Anhangs).

Für die Kontrollgruppe ergab die aus ihren favorisierten Suchworten generierte Suchanfrage *carry OR move OR ship OR retain OR store OR discharge OR pull OR slide OR transport OR translocate OR slip OR hover OR drift OR economize OR bring OR flout OR roll OR load OR unload OR handle OR be suspended OR save OR reduce OR convert OR absorb OR slither* 1561739 biologische Publikationen (Abbildung 7-1).

Für die Versuchsgruppe ergab die aus ihren favorisierten Suchworten generierte Suchanfrage *evaporate OR (water) tight OR heat OR transport OR liquid OR sand OR self-sufficient OR force-enhancer OR float OR slide OR agile OR carry OR distance OR pull OR energy-saving OR move OR long-distant OR cool OR easy OR effortless OR water OR cool down OR heat-resistant OR fillable OR evaporation OR effort-saving OR adaptable OR robust OR efficient* 2523500 biologische Publikationen – also mehr als eineinhalbmals so viele wie die der Kontrollgruppe (Abbildung 7-1).

Bei Betrachtung der relevantesten 1000 Suchergebnisse für die Suchanfragen für Kontroll- und Versuchsgruppe ergab sich für die Anzahl der in den daraus resultierten biologischen Publikationen enthaltenen unterschiedlichen Themen – in erster Näherung ermittelt über die aus den Publikationen gebildeten Zeitschriftencluster – folgendes Bild:

Die Anzahl der gebildeten Zeitschriftencluster war für Kontroll- und Versuchsgruppe unterschiedlich. Für die Kontrollgruppe entstanden 552 Cluster, für die Versuchsgruppe 280.

Hinsichtlich der Zeitschrift waren 32 Cluster für Kontroll- und Versuchsgruppe gleich.

Die Cluster enthielten nur eine einzige identische Publikation.

Abbildung 7-3 zeigt exemplarisch Größe und Namen der jeweils 50 größten Cluster sowie die innerhalb dieser für Kontroll- und Versuchsgruppe gleichen Cluster.

Abgesehen von dem Cluster *PloS one*, in welchem für die Kontrollgruppe 15 und für die Versuchsgruppe 19 biologische Publikationen enthalten waren, gibt es keine für Kontroll- und Versuchsgruppe hinsichtlich der Zeitschrift übereinstimmenden Cluster.

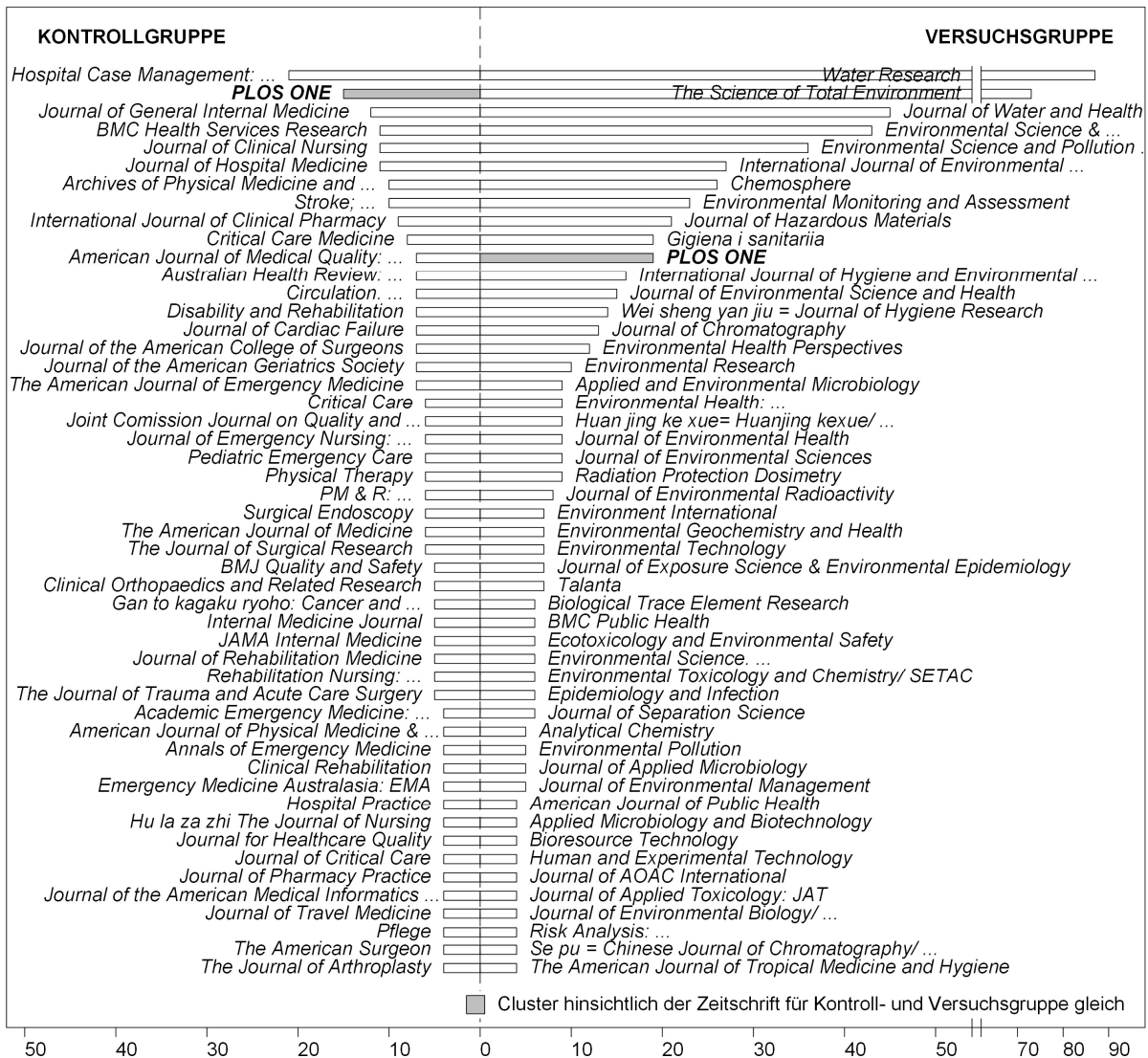


Abbildung 7-3: Zeitschriftencluster für Kontroll- und Versuchsgruppe für das technische Problem Transportieren

Die übrigen 49 betrachteten Cluster repräsentierten zwischen den Gruppen thematisch unterschiedliche Zeitschriften. Innerhalb der Gruppen war dies nicht der Fall. Die in den Clustern repräsentierten Zeitschriften der Kontrollgruppe veröffentlichen alle zu medizinischen Themen. Ein Großteil (33) der in den Clustern repräsentierten Zeitschriften der Versuchsgruppe veröffentlicht zu Themen im Bereich Umwelt, Mensch und Gesundheit. Hinzu kommen Zeitschriften, die zu den Themen Chemie bzw. Stofftrennung, Mikrobiologie, Toxikologie, Hygiene und Spurenelemente veröffentlichen. Eine Zeitschrift veröffentlicht themenunabhängig im Bereich der Biowissenschaften.

Diskussion der Ergebnisse

Insgesamt wurden mehr unterschiedliche biologische Publikationen gefunden, wenn statt nur mit Suchworten der Suchwortart *Funktion* mit Suchworten der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* in *PubMed* nach biologischen Publikationen gesucht wurde.

Interessant ist, dass die Anzahl der aus den *PubMed*-Suchen resultierenden biologischen Publikationen für die Suchanfragen der Versuchsgruppe für die technischen Probleme *Verpacken* und *Transportieren* ähnlich ist, während im Falle der Kontrollgruppe für das technische Problem *Transportieren* mehr als doppelt so viele biologische Publikationen resultierten wie für das technische Problem *Verpacken*.

Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, dass die Nützlichkeit einer Suchwortart vom betrachteten technischen Problem abhängt (Kapitel 6.2.2). Während die Nutzung der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* den Lösungsraum für beide technischen Probleme gleichermaßen offen zu halten scheint, scheint die Nutzung nur der Suchwortart *Funktion* den Lösungsraum problemabhängig unterschiedlich einzuschränken. Ein Einfluss der von den Versuchsteilnehmern für die Suchwortarten favorisierten Suchworte auf dieses Ergebnis ist nicht auszuschließen.

Bei Betrachtung der relevantesten 1000 Suchergebnisse für die Suchanfragen der Gruppen lässt sich problemübergreifend festhalten, dass die daraus resultierten biologischen Publikationen für Kontroll- und Versuchsgruppe in erster Näherung ähnlich viele Themengebiete abdeckten. Für das technische Problem *Transportieren* entstanden für die Versuchsgruppe zwar weniger Zeitschriftencluster, die durch die 50 größten Cluster repräsentierten Zeitschriften deckten allerdings deutlich mehr Themengebiete ab als die der Kontrollgruppe. Ob diese Beobachtung auch für die Gesamtzahl Suchergebnisse wahr ist, bleibt festzustellen.

Interessant ist, dass die durch die Cluster und die Analyse der 50 größten Cluster jeder Gruppe repräsentierte Themenvielfalt in starkem Maße abhängig von dem betrachteten technischen Problem war. Während die repräsentierte Themenvielfalt für das Problem *Verpacken* für Kontroll- und Versuchsgruppe relativ groß war, variierten die repräsentierten Themengebiete innerhalb der Gruppen für das Problem *Transportieren* nur sehr wenig.

Mit der thematischen Varianz zwischen den Gruppen verhielt es sich umgekehrt. Für das technische Problem *Verpacken* gab es mehr durch die Cluster und die Analyse der 50 größten Cluster repräsentierte thematische Überschneidungen und identische biologische Publikationen als für das technische Problem *Transportieren*. Für das Problem *Transportieren* gab es mit einer aus 1000 quasi keine identische biologische Publikation.

Ein möglicher Grund für die Unterschiede in den Ergebnissen für die ersten 1000 Suchergebnisse für die technischen Probleme *Verpacken* und *Transportieren* ist wiederum ein problemabhängiger Einfluss der Suchwortarten auf die aus einer *PubMed*-Suche resultierenden biologischen Publikationen.

Weitere mögliche Gründe sind erstens, die von den Versuchsteilnehmern für die Suchwortarten favorisierten einzelnen Suchworte, zweitens, die Betrachtung einer begrenzten (wenn auch relativ großen) Anzahl Publikationen, und drittens, die Sortierung der Suchergebnisse nach Relevanz. Die deutlichen Unterschiede zwischen den betrachteten technischen Problemen und die

Ähnlichkeit der Ergebnisse für Kontroll- und Versuchsgruppe für ein Problem sprechen für erstgenannten Grund.

Insgesamt lässt sich Folgendes festhalten:

Unabhängig von dem betrachteten technischen Problem zeigen die Versuchsergebnisse, dass eine Nutzung von Suchworten der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt*, verglichen mit der Nutzung von Suchworten nur der Suchwortart *Funktion*, zum Erhalt von mehr unterschiedlichen biologischen Publikationen führt.

Ob durch die größere Anzahl Publikationen auch mehr Themengebiete abgedeckt werden, bleibt zu analysieren. Da der Unterschied in der Anzahl der für ein technisches Problem resultierten biologischen Publikationen zwischen Kontroll- und Versuchsgruppen aber mindestens 961761 Publikationen betrug, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass dies für dieses Experiment zutraf. Außer Frage steht, dass durch eine größere Anzahl Publikationen entweder mehr Themengebiete oder mehr Facetten der enthaltenen Themengebiete abgedeckt werden. Die Nützlichkeit von mehr Facetten eines Themengebiets legt das in Kapitel 5.1.1 illustrierte Fallbeispiel Spinnseide dar.

Unabhängig von der Anzahl der aus den Suchen resultierten biologischen Publikationen besteht ein Vorteil der Nutzung aller betrachteten Suchwortarten darin, dass sich die relevantesten Suchergebnisse einer Suche mit der Nutzung zusätzlicher Suchwortarten stark zu ändern scheinen. Angesichts der Tatsache, dass in der Praxis nur eine begrenzte Anzahl Suchergebnisse durchgesehen werden kann, wird der Suchende so auch bei Betrachtung nur der relevantesten Suchergebnisse vielfältig inspiriert.

8. Beantwortung der Forschungsfragen

Kapitel 8 beantwortet die Forschungsfragen dieser Arbeit. Basis für die Beantwortung der zentralen Forschungsfrage aus Kapitel 2 ist die Beantwortung der Teilforschungsfragen aus Kapitel 4.

Die Antworten auf die Teilforschungsfragen für die qualitative Studie sind:

1. ***Mit welcher Art von Suchworten finden Ingenieure biologische Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen?*** Die qualitative Studie, aber auch das quantitative Fokusexperiment, zeigten, dass für Studierende des Maschinenwesens (stellvertretend für Ingenieure) ein Suchen nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen mit Suchworten, die mehr als nur die Funktion des zu entwickelnden technischen Systems beschreiben, nützlich sein kann. Als nützlich erwiesen sich – zusätzlich zur Suchwortart *Funktion* – die Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt*. Hinweise auf weitere potentiell nützliche Suchwortarten, wie *Funktionsträger*, aus der Studie bedürfen weiterer Untersuchungen. Details sind den Kapiteln 6 und 7 zu entnehmen.
2. ***Inwieweit helfen Suchwortvariationen Ingenieuren, biologische Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen zu finden?*** Die qualitative Studie wies darauf hin, dass für Studierende des Maschinenwesens (stellvertretend für Ingenieure) die Suchwortvariationen Synonyme, Hyponyme, Hyperonyme, Antonyme und *Wortstammbasierte Variationen* möglicherweise nur einen geringen Beitrag zum Finden biologischer Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen leisten. Hinweise auf eine potentielle Nützlichkeit eines Ersetzens dieser Suchwortvariationen durch in *PubMed* angebotene Suchworte oder -begriffe bedürfen weiterer Untersuchungen. Details sind Kapitel 6.2.3 zu entnehmen.
3. ***Wie gehen Ingenieure bei der Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen vor und wie handhaben sie Vorteile und Herausforderungen?*** Abgesehen von der in *BIOscrabble* vorgegebenen Anwendung entwickelten die Studierenden des Maschinenwesens (stellvertretend für Ingenieure) in der qualitativen Studie verschiedene, nicht immer systematische Vorgehensweisen für die Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen. Den Hauptvorteil sahen sie in der durch die biologischen Publikationen aufgezeigten vielfältigen Inspiration für das Lösen eines technischen Problems, die Hauptherausforderung in dem Verstehen der Publikationen. Details sind Kapitel 6.2.4 zu entnehmen.

Die Antwort auf die Teilforschungsfrage für das quantitative Fokusexperiment ist:

Ergeben Suchworte, generiert von Ingenieuren, in einer Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen in PubMed mehr unterschiedliche Publikationen, wenn Suchworte der Suchwortarten Funktion, Eigenschaft und Umwelt oder wenn nur Suchworte der Suchwortart Funktion genutzt werden? Die Versuchsergebnisse weisen darauf hin, dass mehr unterschiedliche biologische Publikationen gefunden werden,

wenn zusätzlich zu – von Studierenden des Maschinenwesens und wissenschaftlichen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Produktentwicklung (stellvertretend für Ingenieure) generierten – Suchworten der Suchwortart *Funktion* auch – von Studierenden des Maschinenwesens und wissenschaftlichen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Produktentwicklung (stellvertretend für Ingenieure) generierte – Suchworte der Suchwortarten *Eigenschaft* und *Umwelt* für die Suche genutzt werden. Ungeklärt ist, ob durch die höhere Anzahl unterschiedlicher biologischer Publikationen mehr Themengebiete oder mehr Facetten eines Themas abgedeckt werden.

Die Nullhypothese „**Die Anzahl der aus einer PubMed-Suche resultierenden unterschiedlichen biologischen Publikationen unterscheidet sich nicht, egal, ob mit, von Ingenieuren generierten, Suchworten der Suchwortarten Funktion, Eigenschaft und Umwelt oder nur mit Suchworten der Suchwortart Funktion gesucht wird.**“ kann für dieses Experiment widerlegt werden.

Die Antwort auf die zentrale Forschungsfrage: „**Wie kann ein strukturiertes Vorgehen aussehen, das Ingenieure dabei unterstützt, eigenständig biologische Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen zu suchen und zu finden?**“ ist der Lösungsansatz *BIOscrabble Reloaded*, der den initialen Lösungsansatz *BIOscrabble* erweitert. Das Aussehen von *BIOscrabble Reloaded* ergibt sich aus den Antworten auf die Teilforschungsfragen, hauptsächlich aus der Antwort auf die dritte Teilforschungsfrage für die Studie, und den dazugehörigen Forschungsergebnissen aus den Kapiteln 6 und 7.

9. Erweiterter Lösungsansatz – *BIOscrabble Reloaded*

Dieses Kapitel illustriert die Erweiterung von *BIOscrabble* – *BIOscrabble Reloaded*.

BIOscrabble Reloaded wird im Folgenden in zwei Teilen illustriert: dem Lösungsansatz an sich und dem dazugehörigen Leitfaden mit der auf Ingenieure zugeschnittenen Anwendung des Ansatzes.

BIOscrabble Reloaded wurde auf Basis der Forschungsergebnisse aus den Kapiteln 6 und 7 entwickelt. Da in diesen Kapiteln *BIOscrabble* – inklusive Bausteinen und Anwendung sowie deren Vor- und Nachteilen – bereits ausführlich diskutiert wurde, wird die Entwicklung von *BIOscrabble Reloaded* in Kapitel 9 nicht gesondert ausgeführt. Die Änderungen im Vergleich zu *BIOscrabble* werden an entsprechender Stelle kommentiert.

9.1 *BIOscrabble Reloaded*

Dieses Kapitel illustriert den erweiterten Lösungsansatz *BIOscrabble Reloaded* (Abbildung 9-1).

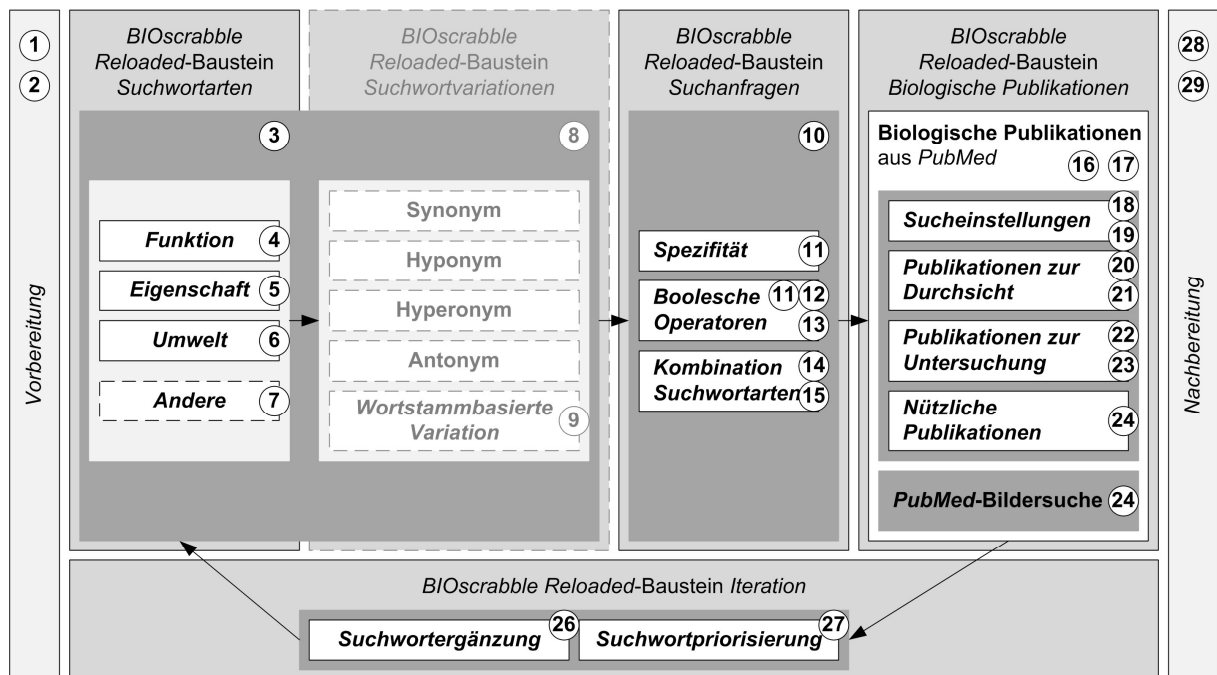


Abbildung 9-1: Erweiterter Lösungsansatz *BIOscrabble Reloaded*; die Nummerierung entspricht der Nummerierung der Anwendungsschritte von *BIOscrabble Reloaded* im Leitfaden (Kapitel 9.2)

BIOscrabble Reloaded-Baustein Suchwortarten: Der *BIOscrabble*-Baustein Suchwortarten wurde ergänzt durch die Suchwortart *Andere*. In der qualitativen Studie verwendete ein Großteil der ^EStudienteilnehmer Suchworte für die Lösungssuche, welche keiner der Suchwortarten

Funktion, Eigenschaft und *Umwelt* zuzuordnen war. Auch, wenn diese drei Suchwortarten in allen nützlichen biologischen Publikationen vertreten waren, scheint es sinnvoll, in *BIOscrabble Reloaded* ein Generieren von Suchworten auch anderer Suchwortarten anzuregen.

BIOscrabble Reloaded-Baustein *Suchwortvariationen*: Der *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortvariationen* sowie dessen Anwendung ist in *BIOscrabble Reloaded* optional; in der qualitativen Studie wurde beobachtet, dass Suchwortvariationen für das Finden nützlicher biologischer Publikationen von geringer Bedeutung sind, deren Generierung aber relativ hohen Aufwand verursacht.

BIOscrabble Reloaded-Baustein *Biologische Publikationen*: Der *BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen* wurde ergänzt durch die Schritte Auswählen von *Sucheinstellungen*, Auswählen von *Publikationen zur Durchsicht*, Auswählen von *Publikationen zur Untersuchung* sowie *Nützliche Publikationen* und deren Auswahl. Die Schritte wurden ergänzt, um den Anwender von *BIOscrabble Reloaded* beim Durchlaufen des Bausteins *Biologische Publikationen* eine grobe Richtung zu geben. Ergänzt wurde außerdem die alternative Suchform der *PubMed-Bildersuche*.

In *BIOscrabble Reloaded* neu hinzugekommen ist

- der *BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Suchanfragen* zur Unterstützung der Verwendung der generierten Suchworte während der Suche nach biologischen Publikationen. Betrachtet werden die *Spezifität* der Suchanfragen, *Boolesche Operatoren* und deren Verwendung und die *Kombination* von *Suchwortarten*.
- der *BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Iteration* – eine Iterationsschleife von der Suche nach biologischen Publikationen (*BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Biologische Publikationen*) zurück zur Generierung der Suchworte (*BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Suchwortarten*). Diese weist auf die von einem Großteil der ^EStudienteilnehmer wahrgenommene Möglichkeit hin, sich während der Lösungssuche zu neuen Suchworten inspirieren zu lassen bzw. generierte Suchworte zu priorisieren.

Anwendungsunterstützung für die *BIOscrabble Reloaded*-Bausteine und deren Inhalte sowie Änderungen in der konkreten Anwendung der einzelnen Bausteine im Vergleich zu *BIOscrabble* sind Kapitel 9.2 zu entnehmen⁴⁴.

Die Nummern kennzeichnen die Stellen in *BIOscrabble Reloaded*, an welchen der Leitfaden Anwendungsunterstützung bietet. Sie entsprechen der Nummerierung der Anwendungsschritte im Leitfaden.

⁴⁴ Da in *BIOscrabble* kein Leitfaden enthalten ist, ist die für Ingenieure vorgesehene Anwendung dort größtenteils in die *BIOscrabble*-Bausteine integriert.

9.2 *BIOscrabble Reloaded* – Leitfaden

Dieses Kapitel illustriert den Leitfaden zu *BIOscrabble Reloaded*. Der Leitfaden enthält eine Beschreibung der vorgesehenen Anwendung von *BIOscrabble Reloaded* durch Ingenieure. Die Beschreibung beinhaltet Anwendungsstrategien, die aus den Studienergebnissen hervorgingen, welche aus der tabellarischen Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer gewonnen wurden, Anwendungsstrategien, die auf Beobachtungen der Studienleiterin basieren sowie einige der Anwendungsstrategien, die von den im Rahmen der qualitativen Studie untersuchten ^{ES}E^A entwickelt und erprobt wurden.

Beschreibungen der vorgesehenen Anwendung sind mit dem Symbol ► gekennzeichnet.

Auf der tabellarischen Dokumentation (Kapitel 6.1.4) der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer oder Beobachtungen der Studienleiterin basierende Anwendungsstrategien sind mit dem Symbol ◆ gekennzeichnet.

Die Anwendungsstrategien der ^{ES}E^A sind mit dem Symbol ★ gekennzeichnet und bewertet (ein ★ entspricht einer positiven Evaluation durch einen ^{ES}E^A).

Birgt eine Anwendungsstrategie Gefahren, ist diese mit einem ☠ gekennzeichnet. Möglichkeiten des Umgangs mit diesen Gefahren werden aufgezeigt.

Die Symbole sind zeilenweise zu lesen – z. B. bedeuten fünf ★★ in der ersten und ein ★ in der zweiten Zeile, dass die erste Anwendungsstrategie durch drei und die zweite durch einen ^{ES}E^A positiv evaluiert wurde.

Es wurden nur solche Anwendungsstrategien der ^{ES}E^A in den Leitfaden aufgenommen, welche durch die Studienergebnisse aus der tabellarischen Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer bestätigt wurden und welche einfach und außerhalb des Rahmens der Studie anwendbar sowie für eine Nutzung durch Dritte ausreichend gut beschrieben waren. Die Anwendungsstrategien der ^{ES}E^A liegen im Leitfaden – wo zulässig und sinnvoll – in verallgemeinerter Form vor.

Die bei der Anwendung von *BIOscrabble Reloaded* unterstützenden Schritte sind im Folgenden dargestellt. Die Nummerierung dient der Einordnung der Schritte in *BIOscrabble Reloaded*, sie drückt keine zeitliche Abfolge aus.

Vorbereitung der Anwendung von *BIOscrabble Reloaded* (Abbildung 9-2)



Abbildung 9-2: Vorbereitung der Anwendung von *BIOscrabble Reloaded*

1. Das betrachtete technische Problem wird umfassend beschrieben. Berücksichtigt werden funktionale Aspekte des Problems bzw. des zu entwickelnden technischen Systems, gewünschte Eigenschaften des zu entwickelnden Systems sowie die Umwelt, welcher das zu entwickelnde System ausgesetzt ist. (►)
2. Es kann nützlich sein, eine oder mehrere Anforderungslisten (★★★★★), Funktionsmodelle (★) oder *Concept Maps* (★) für das Problem bzw. das zu entwickelnde technische System zu erstellen.

BIOscrabble Reloaded-Baustein Suchwortarten (Abbildung 9-3)



Abbildung 9-3: BIOscrabble Reloaded-Baustein Suchwortarten

3. Es werden Suchworte der Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* generiert (►).
 - 3.1. Die Suchworte können aus oben genannter Problembeschreibung (★★) oder oben genannten Anforderungslisten (★★★★★), Funktionsmodellen (★) oder *Concept Maps* (★) extrahiert werden.
 - 3.2. Die Suchworte können über Umfragen zu Funktionen, Eigenschaften und der Umwelt des zu entwickelnden technischen Systems ermittelt werden (★).
4. Suchworte der Suchwortart *Funktion* können den Grundfunktionskatalogen von Hill (Innovationsquelle Natur, 1997) und bzw. oder der *Assoziationsliste* von Gramann (Problemmodelle und Bionik als Methode, 2004) entnommen werden (★). ☠ **Auf eine Lösungsneutralität der entnommenen Suchworte ist unbedingt zu achten!**
5. Die Suchwortart *Eigenschaft* kann für die Suche nach Materialien für die Entwicklung technischer Systeme nützlich sein (★).
6. Bei der Suchwortart *Umwelt* kann es nützlich sein, auch die nähere Umgebung des betrachteten technischen Problems oder zu entwickelnden technischen Systems (z. B. den Einfluss angrenzender Bauteile) in Form von Suchworten zu berücksichtigen (★★).
7. Es kann nützlich sein, Suchworte der Suchwortart *Andere* zu generieren (◆). Hier kann die Suchwortart *Funktionsträger* nützlich sein (★) (eine Definition eines Funktionsträgers ist

Ponn und Lindemann (Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte, 2011, S. 436) zu entnehmen.). ☞ **Auf eine Lösungsneutralität der generierten Suchworte ist unbedingt zu achten!**

BIOscrabble Reloaded-Baustein Suchwortvariationen (Abbildung 9-4)

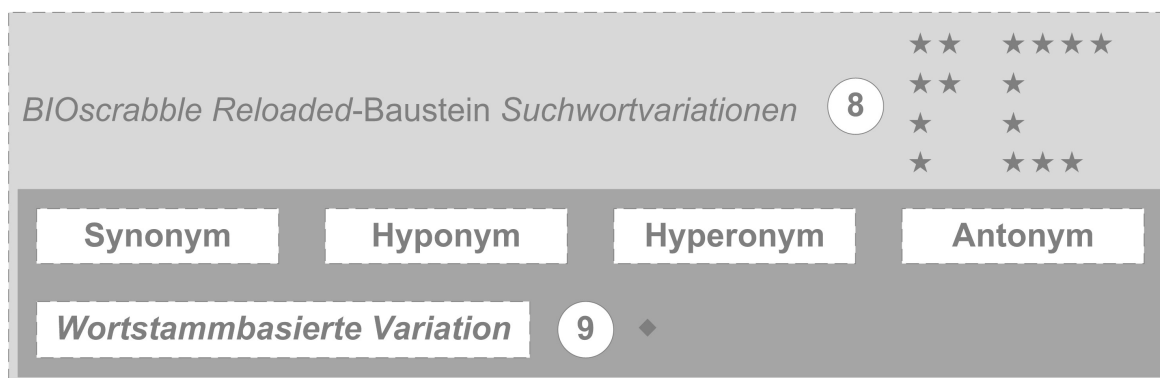


Abbildung 9-4: BIOscrabble Reloaded-Baustein Suchwortvariationen

8. Es können die Suchwortvariationen Synonyme, Hyponyme, Hyperonyme, Antonyme und *Wortstammbasierte Variationen* generiert werden.
 - 8.1. Diese Suchwortvariationen können über eines der folgenden Wörterbücher bzw. Thesauri bezogen werden: *WordNet* (wordnet.princeton.edu), *Woxikon* (www.woxicon.de) (★★), *Thesaurus.com* (www.thesaurus.com) (★★), *Visual Thesaurus* (www.visualthesaurus.com) (★) und *Duden online* (www.duden.de) (★).
 - 8.2. Diese Suchwortvariationen können über eine der folgenden Übersetzungshilfen bezogen werden: *LEO* (dict.leo.org) (★★★★), *Linguee* (www.linguee.de) (★).
 - 8.3. Ein Nutzen mehrerer verschiedener Programme kann nützlich sein (★). Das alleinige Nutzen von *WordNet* (wordnet.princeton.edu) bringt unter Umständen keine zufriedenstellenden Ergebnisse (★★★).
9. ***Wortstammbasierte Variationen* können teils sehr aufwandsarm durch Abkürzung des Suchwortes (Abkürzung*) ersetzt werden, auf welchem sie basieren (♦).** Mit einer Suche nach clos* wären so u. a. die *Wortstammbasierten Variationen* closable und closure des Suchwortes close abgedeckt.

BIOscrabble Reloaded-Baustein Suchanfragen (Abbildung 9-5)

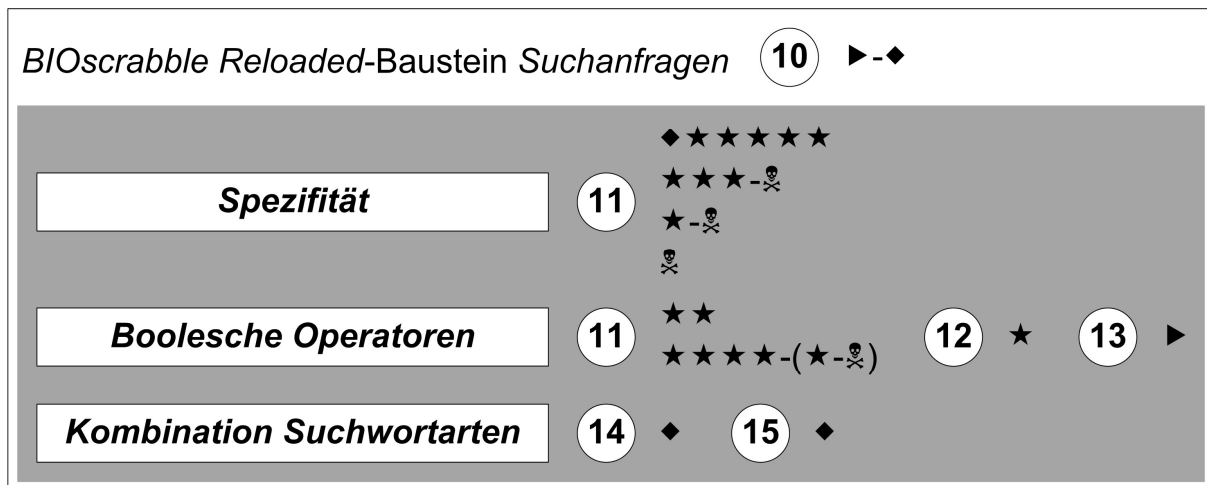


Abbildung 9-5: BIOscrabble Reloaded-Baustein Suchanfragen

10. Es werden Suchanfragen generiert (►). Hier gilt: **Um den Lösungsraum so lange wie möglich offen zu halten, sollten die Suchanfragen so lange wie möglich so vielgestaltig wie möglich sein (◆).**
11. Es kann nützlich sein, spezifische Suchanfragen zu generieren (◆★★★★). Die Spezifität einer Suchanfrage kann über eine Spezifizierung der Suchworte selbst (★★★), die Verknüpfung der Suchworte über die Booleschen Operatoren *AND* (★★) und *NOT* (★★★) oder das Setzen von Suchworten in Anführungszeichen (★) erhöht werden. ☹ ***Je spezifischer die Suchanfrage, desto größer ist die Einschränkung des möglichen Lösungsraums.***
- 11.1. Spezifische Suchworte: ☹ ***Bei der Verwendung spezifischer Substantive ist auf deren Lösungsneutralität zu achten!***
- 11.2. Anführungszeichen: ☹ ***Es können nützliche Publikationen verloren gehen, die die in Anführungszeichen gesetzten Suchworte nicht in genau dieser Reihenfolge und Form enthalten.***
- 11.3. *NOT*: Um den Lösungsraum gezielt einzuschränken, kann folgende Nutzung sinnvoll sein (★):
- Die *Abstracts* der Suchergebnisse werden nacheinander gelesen.
 - Nicht nützliche Suchergebnisse werden eliminiert. Hierfür werden in ihnen enthaltene, für sie charakteristische Worte über *NOT* mit der ursprünglichen Suchanfrage verknüpft. ☹ ***Es dürfen keine vorher als nützlich eingestuftene Suchergebnisse eliminiert werden. Eventuell muss die Suchanfrage angepasst werden.***
12. Es kann nützlich sein, Suchworte mit gleicher Bedeutung mit dem Booleschen Operator *OR* zu verknüpfen (★).

13. Für die *PubMed*-Bildersuche (*BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Biologische Publikationen*) dürfen keine Booleschen Operatoren verwendet werden (►).
14. **Die Nützlichkeit von Suchworten einer bestimmten Suchwortart in einer Suchanfrage kann von dem betrachteten technischen Problem abhängen (◆).**
15. Es kann nützlich sein, Suchworte der Suchwortarten *Funktion* und *Umwelt* miteinander oder mit Suchworten anderer Suchwortarten zu kombinieren (◆).

***BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Biologische Publikationen* (Abbildung 9-6)**

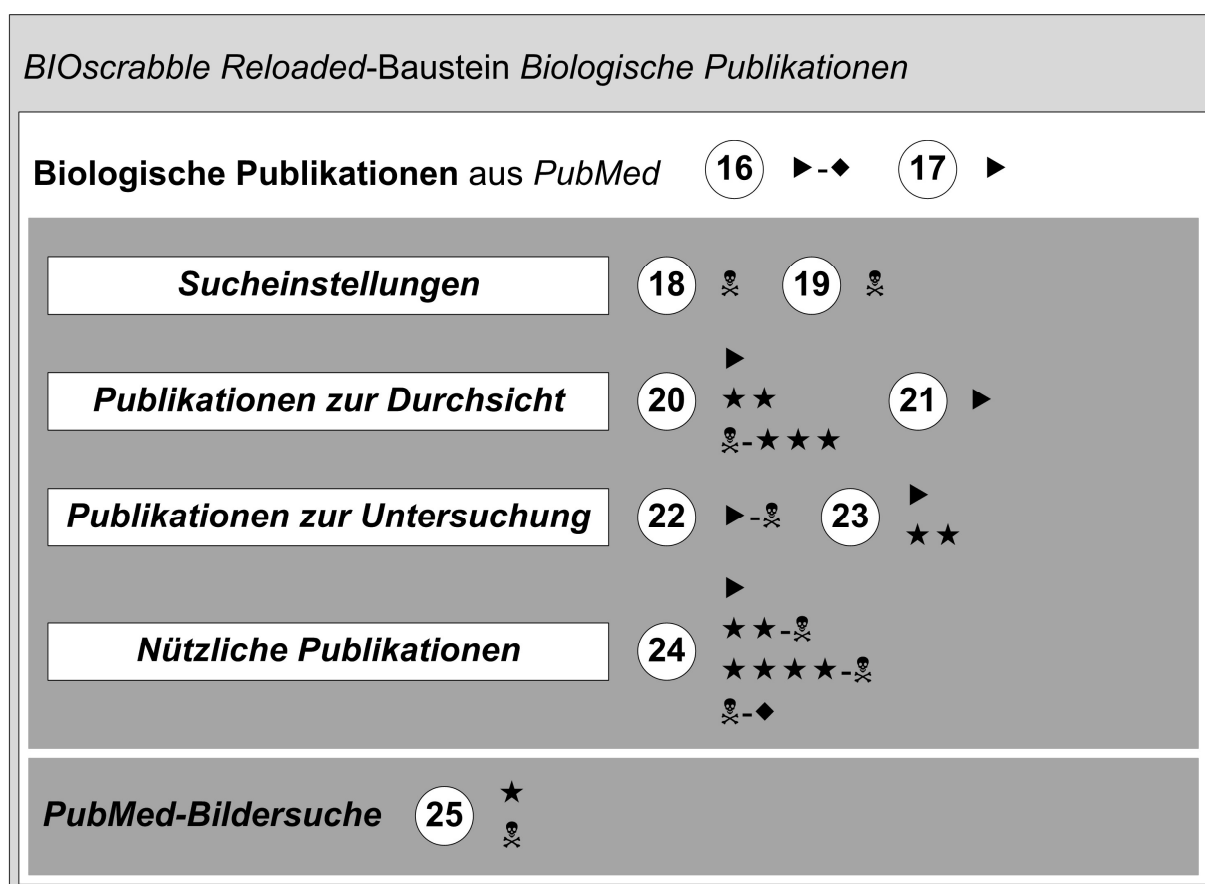


Abbildung 9-6: *BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Biologische Publikationen*

16. Es wird in *PubMed* (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed) mit den generierten Suchanfragen nach biologischen Publikationen gesucht, die eine biologische Lösung für das betrachtete technische Problem beinhalten und damit eine bionische Lösungsidee inspirieren (►). Hier gilt: **Offenheit und ein Denken in ungewohnte Richtungen sind entscheidend für eine erfolgreiche Suche (◆).**
17. Es wird sich über *Using PubMed* auf der *PubMed*-Startseite mit *PubMed* vertraut gemacht (►).

18. Die aus der Suche resultierenden Publikationen können über *PubMed* gefiltert werden. ☹ ***Filter schränken die im Lösungsraum vorhandenen biologischen Themen unkontrolliert ein, wenn Publikationen auf Basis anderer Kriterien als deren Inhalte herausgefiltert werden.***
19. Die Suchergebnisse können über *PubMed* sortiert werden. ☹ ***Standardmäßig sind die Suchergebnisse nach Most Recent sortiert. Forschungstrends können hier zu einer Sortierung nach Forschungsthemen führen.*** Eine themenunabhängige Sortierung ist die nach *Relevance*.
20. Können aufgrund ihrer Anzahl nicht alle Suchergebnisse durchgesehen werden, werden die durchzusehenden Publikationen so objektiv wie möglich ausgewählt (▶). Eine zufällige Auswahl ist eine Möglichkeit (★★). ☹ ***Eine Auswahl nach dem Publikationstitel ist zu vermeiden (★★★).***
21. Titel und *Abstract* der Publikationen werden durchgesehen (▶).
22. Es werden Publikationen zur näheren Untersuchung ausgewählt (▶). ☹ ***Wenn die Nützlichkeit einer Publikation für das Lösen des technischen Problems nicht widerlegt werden kann, sollte diese ausgewählt werden. Verständnisprobleme sind kein Grund, eine Publikation nicht auszuwählen!***
23. Mindestens die *Abstracts* der Publikationen werden aufmerksam gelesen (▶). Es kann nützlich sein die Volltexte der Publikationen zu lesen (★★).
24. Die zu untersuchenden Publikationen werden hinsichtlich ihres Potentials, eine Lösung für das betrachtete technische Problem zu inspirieren, bewertet (▶).
 - 24.1. Es kann nützlich sein, KO-Kriterien aufzustellen (★★). ☹ ***Auf eine lösungsneutrale Formulierung der KO-Kriterien ist unbedingt zu achten!***
 - 24.2. Es kann nützlich sein, Punktbewertungen durchzuführen (★★★★). ☹ ***Auf eine lösungsneutrale Formulierung der KO-Kriterien ist unbedingt zu achten!***
 - 24.3. ☹ ***Die Bewertung der technischen Umsetzbarkeit einer in einer Publikation enthaltenen biologischen Lösung kann zu einem vorschnellen Verwerfen einer Publikation führen und ist an dieser Stelle unbedingt kritisch zu hinterfragen (◆)!***
25. Eine besondere Form der Suche nach biologischen Publikationen in *PubMed* ist die *PubMed*-Bildersuche. Über diese können Abbildungen aus Publikationen gesucht werden.
 - 25.1. Die *PubMed*-Bildersuche kann nützlich sein, um die resultierende biologische Information schneller und besser erfassen zu können (★).
 - 25.2. ☹ ***Es werden nur Abbildungen aus Publikationen gesucht, die in PubMed Central® hinterlegt sind, das sind nur etwa 0,5% der Anzahl der in PubMed hinterlegten Publikationen.***

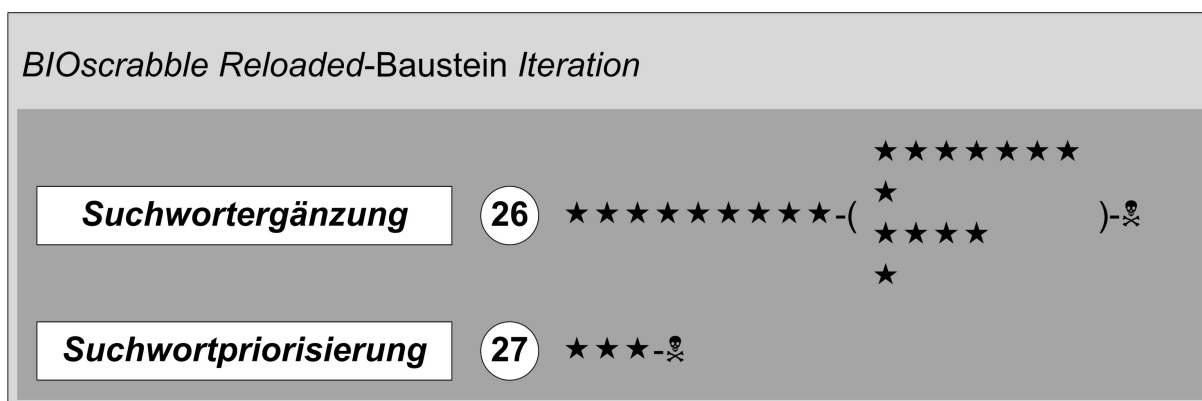
BIOscrabble Reloaded-Baustein Iteration (Abbildung 9-7)

Abbildung 9-7: BIOscrabble Reloaded-Baustein Iteration

26. Es kann nützlich sein, die generierten Suchworte während der Lösungssuche zu ergänzen (★★★★★★★). Zusätzliche Suchworte können aus den gefundenen Publikationen (★★★★★★) oder diesen ähnlichen (*Similar Articles*) (★), aus der Liste der in PubMed hinterlegten *Mesh Terms* (★★★★) oder aus der in PubMed hinterlegten *Index List* (★) extrahiert werden. ☠ *Auf eine Lösungsneutralität der extrahierten Suchworte ist unbedingt zu achten!*
27. Es kann nützlich sein, die generierten Suchworte während der Lösungssuche gemäß ihrer Nützlichkeit für die Lösungssuche zu priorisieren (★★★★), z. B. mittels einer Farbkodierung. ☠ *Um den Lösungsraum solange wie möglich so offen wie möglich zu halten, sollte nicht zu schnell oder schon vor der Suche priorisiert werden.*

Nachbereitung der Anwendung von BIOscrabble Reloaded (Abbildung 9-8)

Abbildung 9-8: Nachbereitung der Anwendung von BIOscrabble Reloaded

28. Auf Basis der als nützlich für das Lösen des technischen Problems bewerteten Publikationen werden bionische Lösungsideen für dieses entwickelt (►).
29. Die in den Publikationen beschriebenen Inhalte bieten Schnittstellen zu
- 29.1. weiteren Informationsquellen wie dem Internet (★★★) bzw. zusätzlicher Fachliteratur (★). Für die Entwicklung einer bionischen Lösungsidee sein kann es nützlich

sein, weitere Informationen zu den als nützlich für das Lösen des technischen Problems bewerteten Publikationen einzuholen (★★★★★★). Ein leichteres Verstehen, Extrahieren und Nutzen der Publikationsinhalte – sofern dort vorhanden – kann *Ask-Nature* (www.asknature.org) fördern (★★★★).

- 29.2. Experten für die beschriebenen Inhalte in Form von Namen und gegebenenfalls weiteren Kontaktdaten. Die Zusammenarbeit mit Experten kann das Verstehen einer biologischen Lösung sowie deren Transfer in die Technik unterstützen.
- 29.3. bestehenden Bionikansätzen zur Unterstützung des Transfers biologischer Lösungen in die Technik, wie der *SBF* (*Structure-Behaviour-Function*)-Modellierung in *DANE* (dilab.cc.gatech.edu/dane/).

10. Ergänzende Diskussion und Grenzen der Lösungsansätze

Dieses Kapitel diskutiert die in Bezug auf *BIOscrabble* und *BIOscrabble Reloaded* noch offenen Punkte und zeigt die Grenzen der Lösungsansätze auf.

Der initiale Lösungsansatz *BIOscrabble* sowie die Vor- und Nachteile der einzelnen Bausteine und deren Anwendung wurden zum großen Teil in den Kapiteln 6 (Anwendungsevaluation von *BIOscrabble*) und 7 (Erfolgsevaluation des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortarten*) diskutiert.

Eine noch nicht angesprochene Herausforderung bei der Anwendung von *BIOscrabble* war sicherlich die knappe und offene Anleitung zum Durchlaufen der *BIOscrabble*-Bausteine.

Diese ist darauf zurückzuführen, dass für Ingenieure keine Ansätze für die strukturierte Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen existierten, von denen konkrete Vorgehensweisen für die Anwendung der *BIOscrabble*-Bausteine übertragen werden konnten⁴⁵.

Ein Vorteil der knappen und offenen Anleitung war, dass das Vorgehen der Studienteilnehmer und sonstigen Anwender bei der Lösungssuche mit *BIOscrabble* wenig beeinflusst wurde. So blieb viel Raum für deren eigene Strategien bei der Anwendung der *BIOscrabble*-Bausteine und damit für Anregungen für die Gestaltung von *BIOscrabble Reloaded*. Ein Nachteil war, dass sich die konkrete Anwendung der Bausteine durch die Teilnehmer und Anwender teils stark unterschied, was es schwierig machte, klare Aussagen darüber zu treffen, inwieweit ein gewähltes Vorgehen allgemein nützlich für die Entwicklung bionischer Lösungen mit *BIOscrabble* ist.

Da die Anwendungsevaluation von *BIOscrabble* sowie die Erfolgsevaluation des Bausteins *Suchwortarten* die Basis für den erweiterten Lösungsansatz *BIOscrabble Reloaded* waren, ergibt sich aus diesem Nachteil auch die Hauptgrenze von *BIOscrabble Reloaded* – die eingeschränkte Allgemeingültigkeit von Bausteinen und Leitfaden.

Um die Allgemeingültigkeit von *BIOscrabble Reloaded* zu erhöhen, bedürfte es für beide Evaluationen von *BIOscrabble* einer größeren Teilnehmerzahl. Die betrachtete Anzahl Teilnehmer ist hierfür zu gering und der durch die einzelnen Teilnehmer eingebrachte subjektive Einfluss auf Studien- und Versuchsergebnisse in der Folge zu groß.

Dies beginnt bei dem Bild, welches sich ein Individuum von einem Problem macht – geprägt durch Vorwissen und Erfahrung (Beyer und Gerlach 2011, S. 108–125). Für die Anwendung von *BIOscrabble* kann dies unterschiedliche Problembeschreibungen und somit unterschiedliche Suchworte bedeuten. Letzteres traf auf die mehrfach bearbeiteten technischen Probleme zu. Auch die Nutzung der Suchworte für die Lösungssuche in biologischen Publikationen und das

⁴⁵ Das Fehlen von Ansätzen für die strukturierte Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen für Ingenieure stellt das in dieser Arbeit durch die Beantwortung der zentralen Forschungsfrage zu lösende Problem dar.

Vorgehen bei dieser können sich von Individuum zu Individuum unterscheiden, was ebenfalls zutraf. Für die Nutzung von Suchmaschinen (zu denen auch *PubMed* gezählt werden kann) fand Gerstheimer (2007, S. 37–38) heraus, dass jeder Nutzer basierend auf seiner Erfahrung eine eigene Musterkompetenz entwickelt, anhand derer über die Relevanz von Information entschieden wird. Letztlich konnte auch das individuelle Textverständnis die Evaluationsergebnisse für *BIOscrabble* beeinflussen. Beim Verstehen von Texten bzw. Sätzen wird vermutet, dass u. a. beim Aufbau einer Repräsentation der Texte bzw. Sätze im Gedächtnis eines Individuums dessen Vorwissen eingebaut wird (Beyer und Gerlach 2011, S. 60–61).

Dies führt zu einer weiteren Grenze von *BIOscrabble Reloaded*. Die über die Anwendungsevaluation von *BIOscrabble* gewonnenen Erkenntnisse basierten auf der Betrachtung des bionischen Prozesses von der Beschreibung des technischen Problems bis zur Beschreibung der bionischen Lösungsidee. Da die Schritte zwischen dem Erhalt biologischer Publikationen und der Beschreibung der bionischen Lösungsideen nicht unterstützt wurden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Publikationen, die in der Studie nicht weiterverfolgt wurden, mit Unterstützung zu einer Lösungsidee geführt hätten – also zu nützlichen Publikationen zählten. Weitere nützliche Publikationen hätten wiederum die Studienergebnisse zur Nützlichkeit der Suchwortarten, Suchwortvariationen, Suchanfragen und Suchstrategien beeinflussen können. Im Falle der Nützlichkeit der Suchwortarten ist ein möglicher Einfluss insofern zu vernachlässigen, als dass diese über die Erfolgsevaluation abgesichert wurde.

Ein subjektiver Einfluss auf die Ergebnisse der Anwendungsevaluation von *BIOscrabble* – und somit *BIOscrabble Reloaded* –, der durch die fehlende Unterstützung bei der Nutzung der gefundenen biologischen Publikationen möglicherweise verstärkt wurde, war das individuelle Maß an geistiger Beweglichkeit und Kreativität der Studienteilnehmer und sonstigen Anwender von *BIOscrabble* (Kapitel 3.1.2 und 6.2.4). Auch deren analytische Fähigkeiten sowie berufliche und private Ereignisse während der Dauer der Studie können die Ergebnisse der Anwendungsevaluation beeinflusst haben.

Abgesehen von seiner eingeschränkten Allgemeingültigkeit ist der erweiterte Lösungsansatz *BIOscrabble Reloaded* an dieser Stelle schwer zu diskutieren, da Anwendungs- sowie Erfolgsevaluationen des Ansatzes ausstehen. Es lässt sich festhalten, dass der Ansatz, v. a. aber der dazugehörige Leitfaden, eine plausible Möglichkeit ist, Ingenieuren ein strukturiertes Vorgehen bereitzustellen, welches diese darin unterstützt, biologische Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen zu suchen und zu finden.

Der *BIOscrabble Reloaded*-Leitfaden ist auf die Suche nach biologischen Publikationen in *PubMed* angepasst. Die Teile des Leitfadens, die sich nicht speziell auf *PubMed*-Funktionen beziehen, sowie die *BIOscrabble-Reloaded*-Bausteine können aber leicht auf die Suche nach biologischen Publikationen in anderen digitalen Quellen übertragen werden. *BIOscrabble Reloaded* basiert großteils auf Erkenntnissen aus der Betrachtung der Publikationen selbst bzw. deren Titel und *Abstracts*. Diese sind unabhängig von der Quelle, in der sie hinterlegt sind.

11. Zusammenfassung und Fazit

Diese Arbeit adressiert das für Wissenschaft und Praxis relevante Problem eines fehlenden strukturierten Vorgehens, das Ingenieure während der Lösungssuche in der Bionik bei der eigenständigen Nutzung biologischer Publikationen unterstützt.

Eine Unterstützung der Nutzung biologischer Publikationen kann die Entwicklung innovativer bionischer Lösungen fördern, indem Ingenieure befähigt werden, den größtmöglichen verfügbaren biologischen Lösungsraum eigenständig zu erschließen. In der Praxis können so z. B. bestehende Schwierigkeiten beim Finden eines Zugangs zur Bionik reduziert werden.

Die Befähigung von Ingenieuren, den über biologische Publikationen zur Verfügung gestellten biologischen Lösungsraum eigenständig und ohne Kenntnis biologischer Fachbegriffe bzw. Erfahrung im Umgang mit biologischen Publikationen für die Lösungssuche in der Bionik zu nutzen, ist das Hauptziel dieser Arbeit.

Um dies zu erreichen, wurde auf Basis existierender Ansätze zur Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik sowie dem Fallbeispiel Spinnseide der initiale Lösungsansatz *BIOscrabble* mit den Bausteinen *Suchwortarten*, *Suchwortvariationen* und *Biologische Publikationen* entwickelt. *BIOscrabble* ist der Hauptbeitrag der Arbeit in initialer Form und erfüllt das Hauptziel der Arbeit.

Die Anwendung von *BIOscrabble* wurde in einer qualitativen Studie evaluiert. Eine Erfolgsevaluation des *BIOscrabble*-Bausteins *Suchwortarten* erfolgte über ein quantitatives Fokusexperiment. Die durch die Anwendungs- und Erfolgsevaluation gewonnenen Daten sind der Nebenbeitrag 1 dieser Arbeit. Dieser erfüllt die Nebenziele 1 und 2 – den Aufbau eines Verständnisses über den Umgang von Ingenieuren mit Publikationen im Allgemeinen und die Nützlichkeit bestimmter Suchworte für das Finden biologischer Publikationen im Speziellen.

Die wesentlichen aus den Daten gewonnenen Erkenntnisse sind:

- Die im *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortarten* enthaltenen Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt* können gegenüber der im Stand der Forschung favorisierten Suchwortart *Funktion* einen Vorteil bei der Erschließung des durch biologische Publikationen zur Verfügung gestellten Lösungsraums bieten.
- Der *BIOscrabble*-Baustein *Suchwortvariationen* ist für das Finden biologischer Publikationen zur Lösung technischer Probleme wahrscheinlich von untergeordneter Bedeutung. Dies ist insbesondere interessant, da es im Widerspruch zu der im Stand der Forschung verbreiteten Theorie steht, dass disziplinspezifische Sprachunterschiede zwischen Ingenieuren und Biologen für eine erfolgreiche Lösungssuche in der Bionik überbrückt werden müssen.
- Die Studiendaten ermöglichten eine Erweiterung von *BIOscrabble* um eine Unterstützung des Nutzers bei der Generierung von Suchanfragen aus Suchworten sowie dem Umgang mit den aus einer Suche resultierenden Publikationen im *BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen*.

- Der durch den *BIOscrabble*-Baustein *Biologische Publikationen* aufgespannte große Lösungsraum kann für die Entwicklung bionischer Lösungen von Vorteil sein. Dies wird im Vergleich zu *AskNature* – einer vielgenutzten (The Biomimicry Institute o. J.) Bionikdatenbank – deutlich. Nur knapp ein Drittel der in der Studie zur Entwicklung bionischer Lösungsideen genutzten Inspiration ist in *AskNature* hinterlegt.
- Die Studiendaten regten die Ergänzung von *BIOscrabble* um eine Iteration zwischen den *BIOscrabble*-Bausteinen *Suchwortarten* und *Biologische Publikationen* an.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde *BIOscrabble Reloaded* inklusive Anwendungsleitfaden entwickelt. *BIOscrabble Reloaded* verbessert *BIOscrabble*, ist der Hauptbeitrag der Arbeit und erfüllt das Hauptziel der Arbeit. Der *BIOscrabble Reloaded*-Leitfaden bietet Schnittstellen zu bestehender Unterstützung der Bionik und zur Biologie, ist damit der Nebenbeitrag 2 der Arbeit und erfüllt Nebenziel 3 der Arbeit.

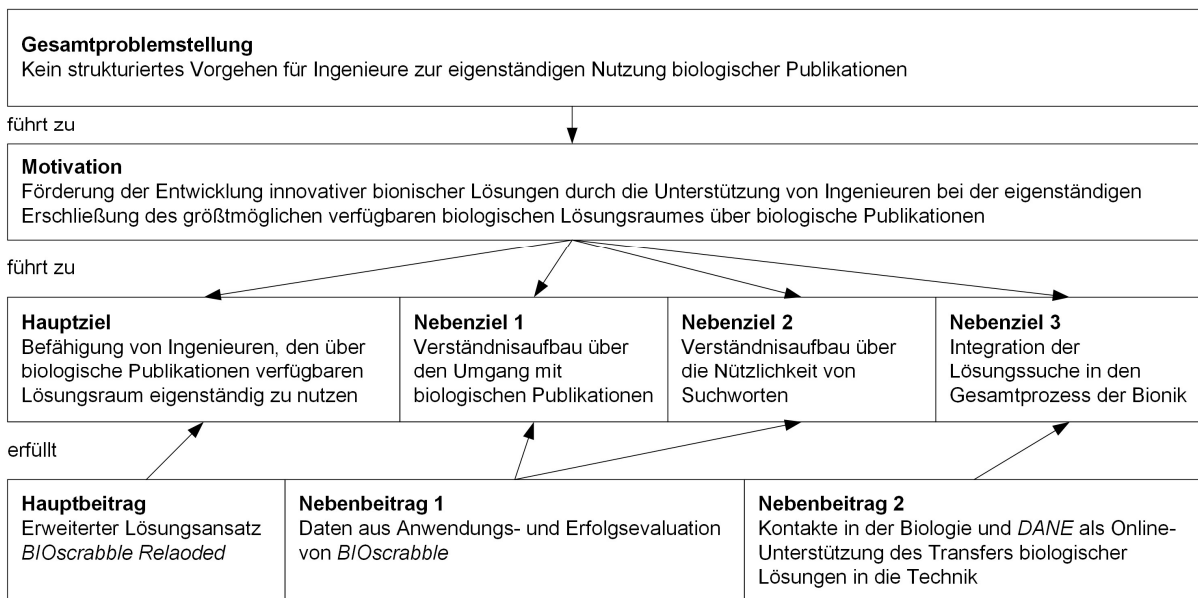


Abbildung 11-1: Übersicht über Problemstellung, Motivation, Zielsetzung und Beitrag dieser Arbeit

Die durch die Arbeit gewonnenen Daten und Erkenntnisse sowie *BIOscrabble Reloaded* sind nicht allgemeingültig, bieten aber eine solide Grundlage für weitere Untersuchungen. *BIOscrabble Reloaded* ist eine Unterstützung für Ingenieure zur eigenständigen Nutzung biologischer Publikationen und somit eine eigenständige Erschließung des größtmöglichen verfügbaren Lösungsraums für das Lösen technischer Probleme mit Bionik, die durch Ingenieure validiert und an deren Arbeitsweise angepasst ist.

12. Zukünftige Forschungs- und Umsetzungsmöglichkeiten

Kapitel 12 zeigt zukünftige Forschungs- und Umsetzungsmöglichkeiten auf Basis dieser Arbeit. Adressiert werden die Bereiche:

- weiterführende Auswertungen der über die Evaluation von *BIOscrabble* gewonnenen Daten
- Verbesserung von *BIOscrabble Reloaded* auf Basis einer Anwendungs- und Erfolgsevaluation
- Bereitstellung und Umsetzung von *BIOscrabble Reloaded* in einer Software
- Entwicklung einer an *BIOscrabble Reloaded* gekoppelten Unterstützung für den Transfer der Inhalte biologischer Publikationen in die Technik

Weiterführende Auswertungen der Daten zu *BIOscrabble* können der Verbesserung von *BIOscrabble Reloaded* dienen:

Noch ungeklärt ist der Zusammenhang zwischen der Nützlichkeit eines Suchwortes einer Suchwortart für die Lösungssuche in biologischen Publikationen und der Spezifität des Suchwortes im Sinne einer Hyponymie bzw. Hyperonymie. Möglich ist, dass die Nützlichkeit unterschiedlicher Suchwortarten neben einer Abhängigkeit vom betrachteten technischen Problem von unterschiedlichen Spezifitäten der Suchworte einer Suchwortart abhängt. In diesem Zusammenhang ist es interessant, inwieweit sich die Nutzung spezifischer bzw. unspezifischer Suchworte in einer Suchanfrage auf die Nützlichkeit dieser Suchanfrage, aber auch den Zusammenhang zwischen Suchwortspezifität und Suchwortart auswirkt.

Eine Bewertung der von den Studienteilnehmern entwickelten bionischen Lösungsideen hinsichtlich ihrer Innovationspotential ist von Interesse. In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass *BIOscrabble* Ingenieure befähigt, den größtmöglichen, über biologische Publikationen verfügbaren, biologischen Lösungsraum eigenständig zu erschließen und für die Entwicklung bionischer Lösungsideen zu nutzen. Eine Bewertung der bionischen Lösungsideen der Studienteilnehmer kann, zusätzlich zu der in dieser Arbeit herangezogenen literaturgestützten Aussage, eine orientierende studienbasierte Aussage über die Annahme ermöglichen, dass die Erschließung des größtmöglichen verfügbaren biologischen Lösungsraums die Entwicklung innovativer bionischer Lösungen fördert. Interessant ist auch, ob ein Zusammenhang zwischen der Strukturebene der biologischen Inspiration und dem Innovationspotential der daraus entstandenen bionischen Lösungsidee erkennbar ist, d. h. ob z. B. Inspirationen auf molekularer Ebene häufiger zu Lösungsideen mit hohem Innovationspotential führen als Inspirationen auf der Ebene des Organismus. Möglicherweise kann auch eine Aussage über den Zusammenhang einer Suchwortart und dem Innovationspotential bionischer Lösungsideen getroffen werden.

Neben den aufgeführten weiterführenden Auswertungen der Daten zu *BIOscrabble* kann eine Anwendungs- sowie Erfolgsevaluation von *BIOscrabble Reloaded* dessen Weiterentwicklung dienen:

Interessant ist hier die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen verschiedenen Arten technischer Probleme und der Nützlichkeit verschiedener Arten von Suchworten für das Finden biologischer Publikationen, die zu deren Lösung inspirieren. Dafür notwendig ist eine wiederholte Bearbeitung desselben Problems durch verschiedene Studienteilnehmer und eine Klassifizierung der zu bearbeitenden technischen Probleme sowie ein ausgewogenes Verhältnis zwischen verschiedenen Problemen ähnlicher und verschiedener Problemarten.

Eine Erfolgsevaluation von *BIOscrabble Reloaded* kann Aufschluss darüber geben, ob *BIOscrabble Reloaded* bzw. der durch den Lösungsansatz aufgespannte Lösungsraum zur Entwicklung von bionischen Lösungen führt, die innovativer sind als Lösungen, die unter Nutzung eines anderen Ansatzes zur Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik entwickelt werden.

Besonders für die Praxis interessant ist die Frage, wie lange es dauert, bis unter Anwendung von *BIOscrabble Reloaded* ausgehend von einem technischen Problem eine bionische Lösung entwickelt wird, welche Anwendungsstrategie zu einer möglichst kurzen Dauer führt und inwieweit das mehrmalige Anwenden von *BIOscrabble Reloaded* durch dieselbe Person diese Dauer verkürzt.

Eine Möglichkeit, *BIOscrabble Reloaded* Ingenieuren in Wissenschaft und Praxis zur Verfügung zu stellen, ist die Umsetzung des Lösungsansatzes in einer Software. Dies kann folgende Vorteile gegenüber der papierbasierten Version von *BIOscrabble Reloaded* haben:

- Über eine interaktive Gestaltung der *BIOscrabble Reloaded*-Nummerierung können gezielt die Teile des *BIOscrabble Reloaded*-Leitfadens abgerufen werden, die im gerade zu durchlaufenden Schritt der *BIOscrabble Reloaded*-Bausteine gebraucht werden.
- Eine Suche nach biologischen Publikationen in *PubMed* (oder weiteren Quellen biologischer Publikationen) kann über entsprechende Verknüpfungen direkt über den *BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Suchanfragen* erfolgen.
- Die Ausgabe der aus einer Suchanfrage resultierenden Publikationen aus *PubMed* (oder weiteren Quellen biologischer Publikationen) kann über den *BIOscrabble Reloaded*-Baustein *Biologische Publikationen* erfolgen. Für einen besseren Überblick über die Suchergebnisse und so möglicherweise eine leichtere Auswahl der durchzusehenden Ergebnisse können die Publikationen in Clustern angezeigt werden. Es gibt verschiedene Möglichkeiten Publikationen zu clustern, von welchen zwei bereits in Kapitel 7 vorgestellt wurden. Thematische Cluster können einen Überblick über die zur Lösung eines technischen Problems potentiell nützlichen biologischen Themengebiete geben. Der Nutzer hat die Option, Stichproben jedes Themengebiets durchzusehen bzw. zu untersuchen, so kann die Wahrscheinlichkeit, dass beim Durchsehen der Suchergebnisse ganze Themengebiete übersehen werden, reduziert werden. Wie genau diese thematischen Cluster von der Software gebildet werden können, bleibt zu untersuchen. Eine Möglichkeit, thematische Cluster der aus einer Suche resultierenden *PubMed*-Publikationen zu bilden, kann sein, über die *PubMed*-Funktion *Similar Articles* ähnliche Publikationen zu vernetzen. Das Potential von *LINNAEUS* (Gerner et al. 2010) für die Realisierung einer weiteren Unterteilung eines thematischen Clusters über den Artnamen der in den Publikationen beschriebenen biologischen Systeme bleibt zu untersuchen.

Ebenfalls offen ist die Frage, inwieweit sich z. B. die von Hacco und Shu (2002) beschriebenen Erkennungsmerkmale von für die Bionik irrelevanten Suchergebnissen für eine lösungsneutrale Priorisierung oder Filterung der aus einer Suche resultierenden Publikationen eignet. Wie von einer *BIOscrabble Reloaded* Software gebildete Cluster visualisiert werden können wurde im Rahmen dieser Arbeit bereits eruiert. Abbildung 12-1 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Visualisierung der in Kapitel 7 diskutierten Zeitschriftencluster mittels der Software *Soley Studio* (Soley GmbH o. J.). Ein vollständiger Screenshot ist Kapitel 14.10 des Anhangs zu entnehmen.

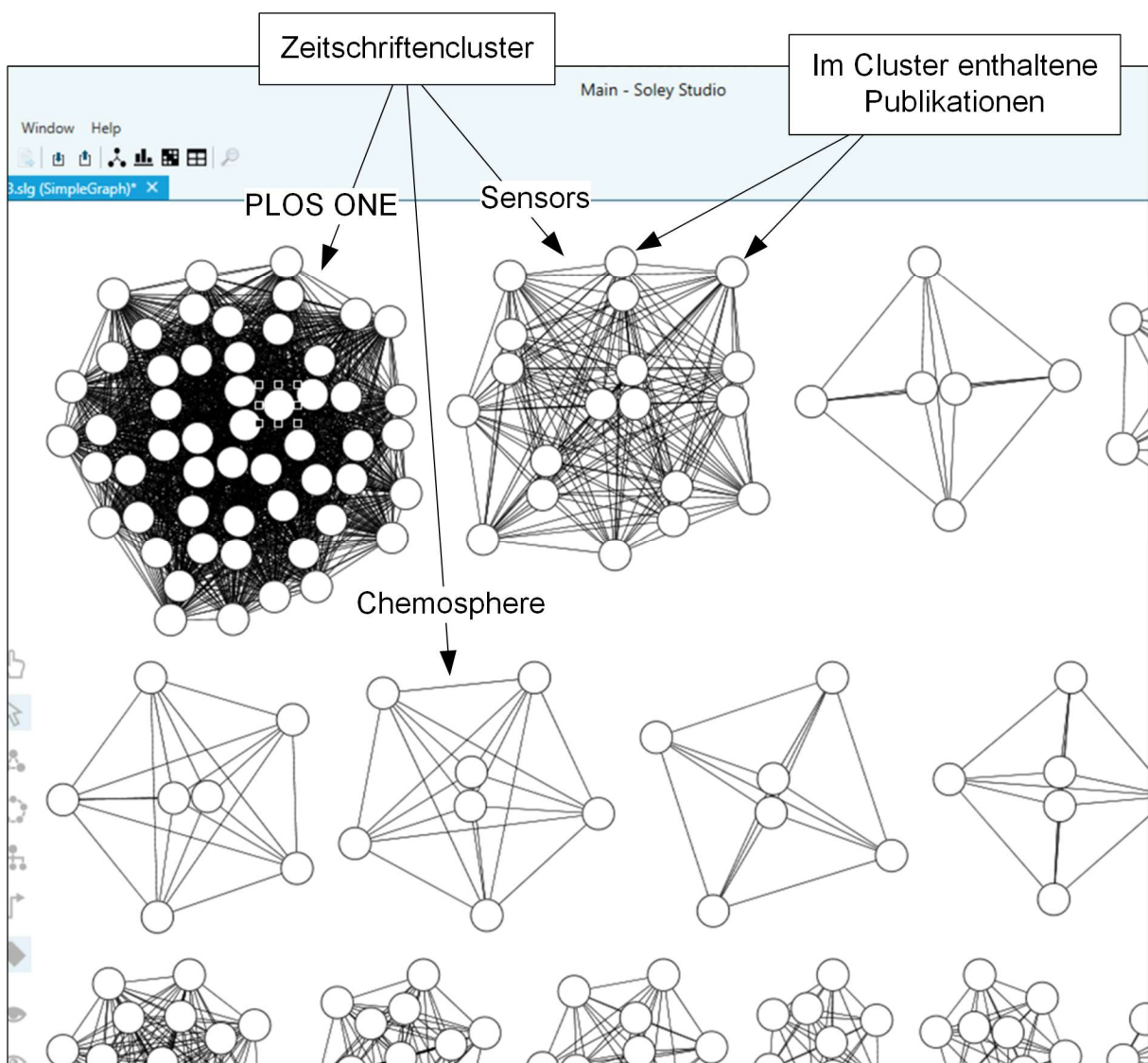


Abbildung 12-1: Beispielhafte Visualisierung von nach Zeitschriften geclusterten PubMed-Publikationen

Anknüpfend an diese Arbeit ist es sinnvoll, Ingenieure bei der Übertragung gefundener nützlicher Publikationsinhalte in die Technik zu unterstützen – entweder eigenständig oder im Dialog mit Experten aus der Biologie. Ein Ansatz die Kommunikation zwischen Technik und Biologie

zu unterstützen wurde von (Hashemi Farzaneh et al. 2015) entwickelt. Eine Schnittstelle des Ansatzes zu *BIOscrabble Reloaded* ist in Arbeit.

13. Literaturverzeichnis

13.1 Studienarbeiten

Unter der Mitwirkung des Autors entstanden folgende in dieser Arbeit zitierte Studienarbeiten:

Produktentwicklung (2013a): Analyse der Datenbank PubMed hinsichtlich einer bionischen Lösungssuche anhand eines praktischen Beispiels. Spiegel, Johannes: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München.

Produktentwicklung (2013b): Bionische Lösungssuche – Anwendung und Weiterentwicklung von BIOscrabble am Beispiel der Entwicklung bionisch inspirierter selbstschärfender Messer. Weis, Markus: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München;

Produktentwicklung (2013c): Development of an Adaptive Surface with Variable Heat Conductivity. Macnish, Daniel: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München;

Produktentwicklung (2013d): Weiterentwicklung einer Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik am Beispiel Aquaplaning. Henze, Anna: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München.

Produktentwicklung (2013e): Weiterentwicklung einer Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik am Beispiel eines Trinkwasseraufbereiters. Flämig, Jan: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München. Hg. v. Produktentwicklung.

Produktentwicklung (2013f): Weiterentwicklung einer Unterstützung der Lösungssuche in der Bionik am Beispiel eines Verschlusses für einen Reisekoffer oder Ähnliches. Michael Topp: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München.

Produktentwicklung (2013g): Weiterentwicklung einer Unterstützung zur Lösungssuche in der Bionik am Beispiel der schnellen Absorption von Wasser zur Entwicklung eines theoretischen Konzeptes für ein Kämmwerkzeug zur Haartrocknung. Felix Kötterheinrich: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München;

Produktentwicklung (2014a): Dynamic Volume and Tension Reducing Design for Luggage. De Melo, Jade; Mullett, Robin; Murphy, Chris: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München.

Produktentwicklung (2014b): Entwicklung einer Seil-Elektromotor-Anbindung in Fitnessgeräten basierend auf bionischer Lösungssuche. Sprung, Patrick: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München.

Produktentwicklung (2014c): Entwicklung eines spannungsreduzierenden Koffermechanismus auf Basis biologischer Veröffentlichungen. Fabian Diewald: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München;

Produktentwicklung (2014d): Self-Sharpening Knives - Using Biological Concepts To Explore Possible Solutions. Maude, Andreas; Rix, Thomas: nicht veröffentlichte Studienarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München;

13.2 Veröffentlichungen

Ahmed, E. M.; Aggor, F. S.; Awad, A. M.; El-Aref, A. T. (2013): An innovative method for preparation of nanometal hydroxide superabsorbent hydrogel. In: *Carbohydrate Polymers* 91 (2), S. 693–698.

Akiyoshi, B.; Sarangapani, K. K.; Powers, A. F.; Nelson, C. R.; Reichow, S. L.; Arellano-Santoyo, H. et al. (2010): Tension directly stabilizes reconstituted kinetochore-microtubule attachments. In: *Nature* 468 (7323), S. 576–579.

Allen, J. K.; Magleby, S. (Hg.) (2001): Proceedings of DETC'01. ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences Design Theory and Methodology. Pittsburgh, 09.-12.09.2001. US: American Society of Mechanical Engineers (Vol. 4: 13th International Conference on Design Theory and Methodology).

Altschuller, G. (1997): 40 Principles. TRIZ Keys to Technical Innovation. Worcester: Technical Innovation Center.

Altschuller, G.; Altov, H. (1996): And Suddenly the Inventor Appeared: Triz, the Theory of Inventive Problem Solving. 2. Aufl. Worcester: Technical Innovation Center.

Amey, M.; Butchard, N.; Hanson, L.; Kinross, D.; Mannion, M.; Parsons, J.; Wright, I. M. (2008): Cautionary tales from the neonatal intensive care unit: diapers may mislead urinary output estimation in extremely low birthweight infants. In: *Pediatric Critical Care Medicine* 9 (1), S. 76–79.

Balaguer, M. P.; Gómez-Estaca, J.; Gavara, R.; Hernandez-Munoz, P. (2011): Functional properties of bioplastics made from wheat gliadins modified with cinnamaldehyde. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59 (12), S. 6689–6695.

Banthin, H. (2014): Bionisches Arbeiten in der Praxis – Hemmnisse abbauen, Chancen ergreifen! In: *Konstruktion* 9, S. 40–41.

Bauer, U.; Di Giusto, B.; Skepper, J.; Grafe, T. U.; Federle, W. (2012): With a flick of the lid: a novel trapping mechanism in *Nepenthes gracilis* pitcher plants. In: *PLoS ONE* 7 (6), S. e38951.

Benami, O.; Jin, Y. (2002): Creative Stimulation in Conceptual Design. In: Proceedings of DETC'02. ASME 2002 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Montreal, 29.09.-02.10.2002 (Volume 3: 7th Design for Manufacturing Conference), S. 161–170.

Beyer, R.; Gerlach, R. (2011): Sprache und Denken. Wiesbaden: VS Verlag.

- Bhatta, S.; Goel, Ashok K.; Prabhakar, S. (1994): Innovation in Analogical Design: A Model-Based Approach. In: John S. Gero und F. Sudweeks (Hg.): Artificial Intelligence in Design. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, S. 57–74.
- Bibliographisches Institut GmbH, Dudenverlag (o. J.): Duden online. Online verfügbar unter www.duden.de/woerterbuch, zuletzt geprüft am 21.08.2015.
- BIOKON - Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetz e.V.: BIOKON. Das Bionik-Kompetenznetz. Online verfügbar unter <http://www.biokon.de/>.
- Börner, K.; Pippig, E.; Tammer, E.-C.; Coulon, C.-H. (1996): Structural Similarity and Adaptation. In: Ian Smith und Boi Faltings (Hg.): Advances in Case-Based Reasoning. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (Lecture Notes in Computer Science, 1168), S. 58–75.
- Boursiac, Y.; Boudet, J.; Postaire, O.; Luu, D. T.; Tournaire-Roux, C.; Maurel, C. (2008): Stimulus-induced downregulation of root water transport involves reactive oxygen species-activated cell signalling and plasma membrane intrinsic protein internalization. In: *The Plant Journal* 56 (2), S. 207–218.
- Bowers, J. R.; Slocombe, R. F. (1999): Influence of girth strap tensions on athletic performance of racehorses. In: *Equine Veterinary Journal* (30), S. 52–56.
- Cairns, B. R. (2007): Chromatin remodeling: insights and intrigue from single-molecule studies. In: *Nature Structural & Molecular Biology* 14 (11), S. 989–996.
- Campbell, N. A. (2000): Biologie. 2. Aufl. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- Carey, F. G.; Teal, J. M. (1966): Heat conservation in tuna fish muscle. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 56 (5), S. 1464–1469.
- Casakin, H. P.; Goldschmidt, G. (2000): Reasoning by visual analogy in design problem-solving: the role of guidance. In: *Environment and Planning B: Planning and Design* 27, S. 105–119.
- Chakrabarti, A.; Sarkar, P.; Leelavathamma, B.; Nataraju, B. S. (2005): A Functional Representation for Aiding Biomimetic and Artificial Inspiration of New Ideas. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 19 (2), S. 113–132. DOI: 10.1017/S0890060405050109.
- Chan, A. W.; Whitney, R. A.; Neufeld, R. J. (2008): Kinetic controlled synthesis of pH-responsive network alginate. In: *Biomacromolecules* 9 (9), S. 2536–2545.
- Chen, G. (2005): Distribution, Migration and Purifying Effect of Cadmium in Artificial Avicennia Marina Wetland System. In: *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 16 (3), S. 550–554.
- Cheong, H.; Chiu, I.; Shu, L. H.; Stone, R. B.; McAdams, D. A. (2011): Biologically Meaningful Keywords for Functional Terms of the Functional Basis. In: *Journal of Mechanical Design* 133, S. 021007-1-021007-11.
- Cheong, H.; Shu, L. H. (2012): Automatic Extraction of Causally Related Functions from Natural-Language Text For Biomimetic Design. In: Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering

Conference IDETC/CIE 2012. ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Chicago, 12.08.-15.08.2012. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 7: 9th International Conference on Design Education; 24th International Conference on Design Theory and Methodology), S. 373–382.

Cheong, H.; Shu, L. H.; Stone, R. B.; McAdams, D. A. (2008): Translating Terms of the Functional Basis into Biologically Meaningful Keywords. In: Proceedings of IDETC/CIE 2008. ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Brooklyn, 03.-06.08.2008. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 4: 20th International Conference on Design Theory and Methodology; Second International Conference on Micro- and Nanosystems), S. 137–148.

Chiu, I.; Shu, L. H. (2005): Bridging Cross-Domain Terminology for Biomimetic Design. In: Proceedings of IDETC'05. ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Long Beach, 24.-28.09.2005. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 5a: 17th International Conference on Design Theory and Methodology), S. 93–101.

Chiu, I.; Shu, L. H. (2007): Biomimetic Design through Natural Language Analysis to Facilitate Cross-Domain Information Retrieval. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 21 (1), S. 45–59. DOI: 10.1017/S0890060407070138.

Chiu, I.; Shu, L. H. (2004): Natural Language Analysis for Biomimetic Design. In: American Society of Mechanical Engineers (Hg.): Proceedings of DETC '04. ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Salt Lake City, 28.09.-02.10.2004 (Volume 3a: 16th International Conference on Design Theory and Methodology), S. 99–107.

Courtman, D. W.; Cho, A.; Langille, L.; Wilson, G. J. (1998): Eliminating arterial pulsatile strain by external banding induces medial but not neointimal atrophy and apoptosis in the rabbit. In: *The American Journal of Pathology* 153 (6), S. 1723–1729.

Creswell, J. W. (2013): Research Design (International Student Edition). Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 4. Aufl.: Sage Publications Ltd.

Dastjerdi, A. K.; Pagano, M.; Kaartinen, M. T.; McKee, M. D.; Barthelat, F. (2012): Cohesive behavior of soft biological adhesives: experiments and modeling. In: *Acta biomaterialia* 8 (9), S. 3349–3359.

Davies, J.; Goel, A. K. (2001): Visual Analogy in Problem Solving. In: M. Stumptner, D. Corbett und M. Brooks (Hg.): AI 2001: Advances in Artificial Intelligence. 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Adelaide, 10.-14.12.2001. Berlin, Heidelberg: Springer.

Day, R. A.; Gastel, B. (2012): How to Write and Publish a Scientific Paper. 7. Aufl. Cambridge: Cambridge University Press.

- Deigendesch, T. (2009): Kreativität in der Produktentwicklung und Muster als methodisches Hilfsmittel. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. Institut für Produktentwicklung (IPEK).
- Deldin, J.-M.; Schuknecht, M. (2014): The AskNature Database: Enabling Solutions in Biomimetic Design. In: A. K. Goel, D. A. McAdams und R. B. Stone (Hg.): *Biologically Inspired Design. Computational Methods and Tools*. London: Springer, S. 17–27.
- Demer, J. L. (2006): Current concepts of mechanical and neural factors in ocular motility. In: *Current Opinion in Neurology* 19 (1), S. 4–13.
- Design Intelligence Lab - Georgia Institute of Technology (o. J.): DANE. Design by Analogy to Nature Engine. Online verfügbar unter <http://dilab.cc.gatech.edu/dane/>.
- Dhindsa, R. S.; Beasley, C. A.; Ting, I. P. (1975): Osmoregulation in Cotton Fiber: Accumulation of Potassium and Malate during Growth. In: *Plant Physiology* 56 (3), S. 394–398.
- Dickinson, M. H. (2005): The Initiation and Control of Rapid Flight Maneuvers in Fruit Flies. In: *Integrative and Comparative Biology* 45 (2), S. 274–281.
- Dickinson, M. H. (1999): Bionics: Biological Insight into Mechanical Design. In: *PNAS* 96 (25), S. 14208–14209.
- Dictionary.com, LLC (o. J.): Thesaurus.com. Online verfügbar unter www.thesaurus.com, zuletzt geprüft am 21.08.2015.
- Dörner, D. (1987): Problemlösen als Informationsverarbeitung. 3. Aufl. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer.
- Drevdahl, J. E. (1956): Factors of Importance for Creativity. In: *Journal of Clinical Psychology* (12), S. 21–26.
- Eder, E. W.; Hosnedl, S. (2007): *Design Engineering. A Manual for Enhanced Creativity*. London: CRC Press - Taylor and Francis Group.
- Ehrlenspiel, K. (2013): *Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 5. Aufl. München: Hanser.
- Eisbär Media GmbH/ C. Kilz (o. J.): Woxikon. Online verfügbar unter www.woxikon.de, zuletzt geprüft am 21.08.2015.
- Fa. Velcro GmbH (2015): VELCRO®. Online verfügbar unter <http://www.velcro.de/>.
- Falagas, M. E.; Pitsouni, E. I.; Malietzis, G. A.; Pappas, G. (2008): Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. In: *The FASEB Journal* 22 (2), S. 338–342.
- Faulkner, S. P.; Richardson, C. J. (1989): Physical and Chemical Characteristics of Freshwater Wetland Soils. In: Donald A. Hammer (Hg.): *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Municipal, Industrial, and Agricultural*. Boca Raton: CRC Press LLC, S. 41–72.
- Feldhusen, J.; Grote, K. H. (2013a): Der Prozess des Konstruierens. In: J. Feldhusen und K. H. Grote (Hg.): *Pahl/ Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 11–23.

- Feldhusen, J.; Grote, K. H. (2013b): Funktionszusammenhang. In: J. Feldhusen und K. H. Grote (Hg.): Pahl/ Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 242–246.
- Forero, M.; Yakovenko, O.; Sokurenko, E. V.; Thomas, W. E.; Vogel, V. (2006): Uncoiling mechanics of Escherichia coli type I fimbriae are optimized for catch bonds. In: *PLoS Biology* 4 (9), S. e298.
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (o. J.): BIOPS. BIOlogy Inspired Problem Solving. Online verfügbar unter <http://www.nature4innovation.com/>.
- Gao, H.; Ji, B.; Buehler, M. J.; Yao, H. (2004): Flaw tolerant bulk and surface nanostructures of biological systems. In: *Mechanics & Chemistry of Biosystems* 1 (1), S. 37–52.
- Gassmann, O.; Zeschky, M. (2008): Opening up the Solution Space: The Role of Analogical Thinking for Breakthrough Product Innovation. In: *Creativity and Innovation Management* 17 (2), S. 97–106. DOI: 10.1111/j.1467-8691.2008.00475.x.
- Gebeshuber, I. C. (2008): An attempt to reveal synergies between biology and mechanical engineering. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 222 (7), S. 1281–1287. DOI: 10.1243/09544062JMES890.
- Gerner, M.; Nenadic, G.; Bergman, C. M. (2010): LINNAEUS: A species name identification system for biomedical literature. In: *BMC Bioinformatics* 11 (85).
- Gero, J. S. (1990): Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. In: *AI Magazine* 11 (4), S. 26–36.
- Gerstheimer, O. (chilli mind GmbH, Kassel); (2007): Digitales Jagen und Sammeln: Ein kritischer, bedürfnis-semantischer Exkurs aus Nutzersicht. In: J. Eberspächer und S. Holtel (Hg.): Suchen und Finden im Internet. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 29–40.
- Gilroy, S.; Jones, D. L. (2000): Through form to function: root hair development and nutrient uptake. In: *Trends in Plant Science* 5 (2), S. 56–60.
- Gleich, A. v.; Pade, C.; Petschow, U.; Pissarskoi, E. (2007): Bionik. Aktuelle Trends und zukünftige Potenziale. 500 Exemplare. Berlin/Bremen, Deutschland.
- Glotzer, M. (2009): The 3Ms of central spindle assembly: microtubules, motors and MAPs. In: *Nature Reviews. Molecular Cell Biology* 10 (1), S. 9–20.
- Goel, A. K.; Bhatta, S. (2004): Use of Design Patterns in Analogy-Based Design. In: *Advanced Engineering Informatics* 18, S. 85–94.
- Goel, A. K.; Rugaber, S.; Vattam, S. S. (2009): Structure, behavior, and function of complex systems: The structure, behavior, and function modeling language. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 23 (Special Issue 01), S. 23–35.
- Google Inc. (o. J.a): Google. Online verfügbar unter www.google.com, zuletzt geprüft am 31.08.2015.
- Google Inc. (o. J.b): Google Scholar. Online verfügbar unter <https://scholar.google.de/>, zuletzt geprüft am 27.07.2015.

- Gorb, E.; Kastner, V.; Peressadko, A.; Arzt, E.; Gaume, L.; Rowe, N.; Gorb, S. (2004): Structure and properties of the glandular surface in the digestive zone of the pitcher in the carnivorous plant *Nepenthes ventrata* and its role in insect trapping and retention. In: *The Journal of Experimental Biology* 207 (Pt 17), S. 2947–2963.
- Gorb, S. N.; Beutel, R. G.; Gorb, E. V.; Jiao, Y.; Kastner, V.; Niederegger, S. et al. (2002): Structural design and biomechanics of friction-based releasable attachment devices in insects. In: *Integrative and Comparative Biology* 42 (6), S. 1127–1139.
- Gordon, H. A.; Nakamura, S. (1975): Elevated levels of colloid osmotic pressure in cecal contents of germfree animals. In: *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 149 (1), S. 46–49.
- Gordon, W. J. J. (1961): *Synectics. The Development of Creative Capacity*. New York City, NY, USA: Harper & Row.
- Gosline, J. M.; Guerette, P. A.; Ortlepp, C. S.; Savage, K. N. (1999): The mechanical design of spider silks: from fibroin sequence to mechanical function. In: *The Journal of Experimental Biology* 202 (Pt 23), S. 3295–3303.
- Gramann, J. (2004): *Problemmodelle und Bionik als Methode*. Dissertation. Technische Universität München, München.
- Gruber, U. F. (1975): Dextran and the prevention of postoperative thromboembolic complications. In: *The Surgical Clinics of North America* 55 (3), S. 679–696.
- Hacco, E.; Shu, L. H. (2002): Biomimetic Concept Generation Applied to Design for Remanufacture. In: Proceedings of DETC'02. ASME 2002 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Montreal, 29.09.-02.10.2002 (Volume 3: 7th Design for Manufacturing Conference), S. 239–246.
- Hashemi Farzaneh, H.; Helms, M. K.; Lindemann, Udo (2015): Visual Representations as a Bridge for Engineers and Biologists in Bio-Inspired Design Collaborations. In: C. Weber, S. Husung, M. Cantamessa, G. Cascini, D. Marjanovic und V. Srinivasan (Hg.): Proceedings of ICED 15. ICED 15. Mailand, 27.-30.07.2015: Design Society (Vol 2: Design Theory and Research Methodology, Design Processes), S. 215–224.
- Hawthorn, A. C.; Opell, B. D. (2003): Van der Waals and hygroscopic forces of adhesion generated by spider capture threads. In: *The Journal of Experimental Biology* 206 (22), S. 3905–3911.
- Heller, J.; Penhale, D. W.; Fritzing, B. K.; Rose, J. E.; Helwing, R. F. (1983): Controlled release of contraceptive steroids from biodegradable poly (ortho esters). In: *Contraceptive Delivery Systems* 4 (1), S. 43–53.
- Helms, M. K.; Hashemi Farzaneh, H.; Lindemann, U. (im Druck (geplant 2016)): Creating Bio-inspired Solution Ideas Using Biological Research Articles. In: G. E. Corazza und S. Agnoli (Hg.): *Multidisciplinary Contributions to the Science of Creative Thinking*. Singapur: Springer (Creativity in the Twenty First Century, 2), S. 215–232.
- Helms, M. E.; Goel, A. K. (2013): Grounded knowledge representations for biologically inspired design. In: U. Lindemann, V. Srinivasan, Y. S. Kim, S. W. Lee, J. Clarkson und

- Gaetano C. (Hg.): Proceedings of ICED 13. ICED 13. Seoul, 19.08.-22.08.2013: Design Society (Vol.6: Design Information and Knowledge), S. 351–360.
- Helms, M. E.; Goel, A. K. (2014): The Four-Box Method: Problem Formulation and Analogy Evaluation in Biologically Inspired Design. In: *Journal of Mechanical Design* 136, S. 111106-111106-12.
- Helms, M. E.; Vattam, S. S.; Goel, A. K. (2009): Biologically Inspired Design: Process and Products. In: *Design Studies* 30 (5), S. 606–622. DOI: 10.1016/j.destud.2009.04.003.
- Hemmerle, A.; Malaquin, L.; Charitat, T.; Lecuyer, S.; Fragneto, G.; Daillant, J. (2012): Controlling interactions in supported bilayers from weak electrostatic repulsion to high osmotic pressure. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109 (49), S. 19938–19942.
- Hill, B. (1997): Innovationsquelle Natur. Naturorientierte Innovationsstrategie für Entwickler, Konstrukteure und Designer. Aachen: Shaker Verlag.
- Hillyard, S. D.; Willumsen, N. J. (2011): Chemosensory function of amphibian skin: integrating epithelial transport, capillary blood flow and behaviour. In: *Acta physiologica* 202 (3), S. 533–548.
- Hoffman, A. M.; Swanson, L. G.; Bruns, S. J.; Kuehn, H.; Bedenice, D. (2005): Effects of tension of the girth strap on respiratory system mechanics in horses at rest and during hyperpnea induced by administration of lobeline hydrochloride. In: *American Journal of Veterinary Research* 66 (7), S. 1167–1174.
- Hollermann, M.; Förster, F. (o. J.): die Bioniker. Hg. v. M. Hollermann und F. Förster. Online verfügbar unter <http://www.diebioniker.de/>.
- Hong, K. H.; Ye, M.; Kim, Y. M.; Kevorkian, K. F.; Berke, G. S. (1997): The role of strap muscles in phonation—in vivo canine laryngeal model. In: *Journal of Voice* 11 (1), S. 23–32.
- Hosoda N.; Gorb, S. N. (2012): Underwater locomotion in a terrestrial beetle: combination of surface de-wetting and capillary forces. In: *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* 279 (1745), S. 4236–4242.
- Hsiao, T. C.; O'toole, J. C.; Yambao, E. B.; Turner, N. C. (1984): Influence of Osmotic Adjustment on Leaf Rolling and Tissue Death in Rice (*Oryza sativa* L.). In: *Plant Physiology* 75 (2), S. 338–341.
- Huang, X.; Liu G.; Wang, X. (2012): New secrets of spider silk: exceptionally high thermal conductivity and its abnormal change under stretching. In: *Advanced Materials* 24 (11), S. 1482–1486.
- Huang, Z.; Liu, S.; Fang, G.; Zhang, B. (2013): Synthesis and swelling properties of β -cyclodextrin-based superabsorbent resin with network structure. In: *Carbohydrate Polymers* 92 (2), S. 2314–2320.
- Hull, B. E.; Staehelin, L. A. (1976): Functional significance of the variations in the geometrical organization of tight junction networks. In: *The Journal of Cell Biology* 68 (3), S. 688–704.

- Internationales Bionik-Zentrum (o. J.): Spinnenseide als Ersatz für geschädigte Nerven. Online verfügbar unter <http://www.bionik-zentrum.de/default.asp?navA=kontakt&navID=12&editable=1>, zuletzt geprüft am 14.07.2015.
- Jansson, D. G.; Smith, S. M. (1991): Design Fixation. In: *Design Studies* 12 (1), S. 3–11. DOI: 10.1016/0142-694X(91)90003-F.
- Javot, H.; Lauvergeat, V.; Santoni, V.; Martin-Laurent, F.; Güçlü, J.; Vinh, J. et al. (2003): Role of a single aquaporin isoform in root water uptake. In: *The Plant Cell* 15 (2), S. 509–522.
- Jeuken, M. (1958): Function in Biology. In: *Acta Biotheoretica* 13 (1), S. 29–46.
- Jordan, A. (2008): Methoden und Werkzeuge für den Wissenstransfer in der Bionik. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg.
- Joung, Y. S.; Buie, C. R. (2013): A hybrid method employing breakdown anodization and electrophoretic deposition for superhydrophilic surfaces. In: *The Journal of Physical Chemistry. B.* 117 (6), S. 1714–1723.
- Kaiser, M. K.; Hashemi Farzaneh, H.; Lindemann, U. (2012): An Approach to Support Searching for Biomimetic Solutions Based on System Characteristics and its Environmental Interactions. In: D. Marjanovic, M. Storga, N. Pavkovic und N. Bojcetic (Hg.): Proceedings of DESIGN 2012. 12th International Design Conference. Dubrovnik, 21.05.-24.05.2012: Design Society, S. 969–978.
- Kaiser, M. K.; Hashemi Farzaneh, H.; Lindemann, U. (2013): BIOscrabble - Extraction of Biological Analogies out of Large Text Sources. In: Proceedings of IC3K 2013. IC3K 2013. Vilamoura, 19.09.-22.09.2013: SCITEPRESS Digital Library, S. 10–20.
- Kaiser, M. K.; Hashemi Farzaneh, H.; Lindemann, U. (2014): BIOscrabble - The Role of Different Types of Search Terms when Searching for Biological Inspiration in Biological Research Articles. In: D. Marjanovic, M. Storga, N. Pavkovic und N. Bojcetic (Hg.): Proceedings of the DESIGN 2014. 13th International Design Conference. Dubrovnik, 19.05.-22.05.2014: Design Society, S. 241–250.
- Kargol, A.; Kargol, M. (1996): The plant root as an osmo-diffusive converter of free energy. In: *General Physiology and Biophysics* 15 (1), S. 11–26.
- Kaufmann, M. R. (1970): Water potential components in growing citrus fruits. In: *Plant Physiology* 46 (1), S. 145–149.
- Ke, J.; Wallace, J. S.; Chiu, I.; Shu, L. H. (2010): Supporting Biomimetic Design by Embedding Metadata in Natural-Language Corpora. In: Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2010. ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Montreal, 15.-18.08.2010. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 5: 22nd International Conference on Design Theory and Methodology; Special Conference on Mechanical Vibration and Noise), S. 167–174.

Killian, C. E.; Metzler, R. A.; Gong, Y. U.; Olson, I. C.; Aizenberg, J.; Politi, Y. et al. (2009): Mechanism of calcite co-orientation in the sea urchin tooth. In: *Journal of the American Chemical Society* 131 (51), S. 18404–18409.

Konetschny, C. (2011): Bionik: Ursache der extremen Festigkeit der Spinnenseide entschlüsselt. MaterialsGate - Büro für Material- und Technologieberatung. Online verfügbar unter <http://www.materialsgate.de/de/mnews/13905/Bionik+Ursache+der+extremen+Festigkeit+der+Spinnenseide+entschl%C3%BCsselt.html>, zuletzt geprüft am 14.07.2015.

Koroskenyi, B.; McCarthy, S. P. (2001): Synthesis of acetylated konjac glucomannan and effect of degree of acetylation on water absorbency. In: *Biomacromolecules* 2 (3), S. 824–826.

Kunugiza, Y.; Tomita, T.; Moritomo, H.; Yoshikawa, H. (2010): A hydrocellular foam dressing versus gauze: effects on the healing of rat excisional wounds. In: *Journal of Wound Care* 19 (1), S. 10–14.

Kutter, S. (2010): Elastischer Beton aus Spinnenseide. WirtschaftsWoche Online, Handelsblatt GmbH. Online verfügbar unter <http://www.wiwo.de/impressum/>, zuletzt geprüft am 14.07.2015.

Kwasniewski, M.; Janiak, A.; Mueller-Roeber, B.; Szarejko, I. (2010): Global analysis of the root hair morphogenesis transcriptome reveals new candidate genes involved in root hair formation in barley. In: *Journal of Plant Physiology* 167 (13), S. 1076–1083.

Lalani, R.; Liu, L. (2012): Electrospun zwitterionic poly(sulfobetaine methacrylate) for nonadherent, superabsorbent, and antimicrobial wound dressing applications. In: *Biomacromolecules* 13 (6), S. 1853–1863.

Lamprecht, J. (1999): Biologische Forschung: von der Planung bis zur Publikation. Fürth: Filander Verlag.

Lee, H.; Alcaraz, M. L.; Rubner, M. F.; Cohen, R. E. (2013): Zwitter-wettability and antifogging coatings with frost-resisting capabilities. In: *ACS nano* 7 (3), S. 2172–2185.

Lee, T. J.; Schwartz, C.; Guo, P. (2009): Construction of bacteriophage phi29 DNA packaging motor and its applications in nanotechnology and therapy. In: *Annals of Biomedical Engineering* 37 (10), S. 2064–2081.

Leforestier, A. (2013): Polymorphism of DNA conformation inside the bacteriophage capsid. In: *Journal of Biological Physics* 39 (2), S. 201–213.

Lenau, T. (2009): Biomimetics as a Design Methodology - Possibilities and Challenges. In: M. N. Bergendahl, M. Grimheden, L. Leifer, P. Skogstad und U. Lindemann (Hg.): Proceedings of ICED 09. 17th International Conference on Engineering Design. Palo Alto, 24.08.-27.8.2009: Design Society (Vol. 5, Design Methods and Tools), S. 417–428.

LEO GmbH (o. J.): LEO. Online verfügbar unter www.leo.org, zuletzt geprüft am 21.08.2015.

- Li, H.; Yang, J.; Hu, X.; Liang, J.; Fan, Y.; Zhang, X. (2011): Superabsorbent polysaccharide hydrogels based on pullulan derivate as antibacterial release wound dressing. In: *Journal of Biomedical Materials Research. Part A* 98 (1), S. 31–39.
- Li, Q.; Ma, Z.; Yue, Q.; Gao, B.; Li, W.; Xu, X. (2012): Synthesis, characterization and swelling behavior of superabsorbent wheat straw graft copolymers. In: *Bioresource Technology* 118, S. 204–209.
- Liao, X.; Luo, S. (2002): Effects of constructed wetlands on treating with nitrogen and phosphorus in wastewater from hogger. In: *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 13 (6), S. 719–722.
- Lindberg, D. A. B. (2000): Internet Access to the National Library of Medicine. In: *Effective Clinical Practice* 3 (5), S. 256–260.
- Lindemann, U. (2009): Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Linguee GmbH (o. J.): Linguee. Online verfügbar unter www.linguee.de, zuletzt geprüft am 21.08.2015.
- Linsey, J. S.; Markman, A. B.; Wood, K. L. (2012): Design by Analogy: A Study of the WordTree Method for Problem Re-Representation. In: *Journal of Mechanical Design* 134 (4). DOI: 10.1115/1.4006145.
- Linsey, J. S.; Murphy, J. T.; Markman, A. B.; Wood, K. L.; Kurtoglu, T. (2006): Representing Analogies: Increasing the Probability of Innovation. In: Proceedings of IDETC/CIE 2006. ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Philadelphia, 10.-13.09.2006. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 4a: 18th International Conference on Design Theory and Methodology), S. 265–282.
- Linsey, J. S.; Viswanathan, V. K. (2014): Overcoming Cognitive Challenges in Bioinspired Design and Analogy. In: A. K. Goel, D. A. McAdams und R. B. Stone (Hg.): *Biologically Inspired Design. Computational Methods and Tools*. London: Springer, S. 221–244.
- Linsey, J. S.; Wood, K. L.; Markman, A. B. (2008): Modality and Representation in Analogy. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 22, S. 85–100.
- Liu, Z.; Gandhi, C. S.; Rees, D. C. (2009): Structure of a tetrameric MscL in an expanded intermediate state. In: *Nature* 461 (7260), S. 120–124.
- Löffler, S. (2008): Anwenden bionischer Konstruktionsprinzipie in der Produktentwicklung. Dissertation. Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig.
- Mackey, A. L.; Heinemeier, K. M.; Koskinen, S. O.; Kjaer, M. (2008): Dynamic adaptation of tendon and muscle connective tissue to mechanical loading. In: *Connective Tissue Research* 49 (3), S. 165–168.
- Mak, T. W.; Shu, L. H. (2008): Using Descriptions of Biological Phenomena for Idea Generation. In: *Research in Engineering Design* 19 (1), S. 21–28. DOI: 10.1007/s00163-007-0041-y.

- Marcasuzaa, P.; Reynaud, S.; Ehrenfeld, F.; Khoukh, A.; Desbrieres, J. (2010): Chitosan-graft-polyaniline-based hydrogels: elaboration and properties. In: *Biomacromolecules* 11 (6), S. 1684–1691.
- Martin, C. E.; Rux, G.; Herppich, W. B. (2013): Responses of epidermal cell turgor pressure and photosynthetic activity of leaves of the atmospheric epiphyte *Tillandsia usneoides* (Bromeliaceae) after exposure to high humidity. In: *Journal of Plant Physiology* 170 (1), S. 70–73.
- Masubuchi, Y.; Yaoita, T.; Matsumiya, Y.; Watanabe, H. (2011): Primitive chain network simulations for asymmetric star polymers. In: *The Journal of Chemical Physics* 134 (19), S. 194905.
- Matzler, K.; Stahl, H. K.; Hinterhuber, H. H. (2004): Die Customer-based View der Unternehmung. In: H. H. Hinterhuber und K. Matzler (Hg.): *Kundenorientierte Unternehmensführung. Kundenorientierung - Kundenzufriedenheit - Kundenbindung*. 4. Aufl. Wiesbaden: Springer, S. 3–32.
- McAdams, D. A.; Wood, K. L. (2002): A Quantitative Similarity Metric for Design-by-Analogy. In: *Journal of Mechanical Design* 124, S. 173–182.
- McEntyre, J.; Lipman, D. (2001): PubMed: bridging the information gap. In: *CMAJ (Canadian Medical Association Journal)* 164 (9), S. 1317–1319.
- Melvin, A.; Litsky, A.; Mayerson, J.; Stringer, K.; Melvin, D.; Juncosa-Melvin, N. (2011): An artificial tendon to connect the quadriceps muscle to the tibia. In: *Journal of Orthopaedic Research* 29 (11), S. 1775–1782.
- Miller, G.; Galanter, E.; Pribram, K. H. (1973): *Strategien des Handels. Pläne und Strukturen des Verhaltens*. Stuttgart: Ernst Klett.
- Moore, B. C. J. (2004): *An Introduction to the Psychology of Hearing*. 5. Aufl. London, Amsterdam, Burlington, San Diego: Elsevier Inc.
- Murtada, S. C.; Arner, A.; Holzapfel, G. A. (2012): Experiments and mechanochemical modeling of smooth muscle contraction: significance of filament overlap. In: *Journal of Theoretical Biology* 297, S. 176–186.
- Nachtigall, W. (2002): *Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Nagel, J. K. S.; Stone, R. B.; McAdams, D. A. (2010): An Engineering-to-Biology Thesaurus For Engineering Design. In: *Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2010*. ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Montreal, 15.-18.08.2010. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 5: 22nd International Conference on Design Theory and Methodology; Special Conference on Mechanical Vibration and Noise), S. 117–128.
- Nakamura, Y. (2003): Combination of ARIZ92 and NM (Nakayama, Masakazu) Method for the 5-th level problems. In: *TRIZCON2003*. TRIZCON2003. Philadelphia.

National Center for Biotechnology Information (o. J.a): PubMed. US National Library of Medicine National Institutes of Health. Online verfügbar unter <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>.

National Center for Biotechnology Information (o. J.b): PubMed Central® (PMC). US National Library of Medicine National Institutes of Health. Online verfügbar unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/>.

National Network of Libraries of Medicine (o. J.): NN/LM. Online verfügbar unter <http://nmlm.gov/>, zuletzt geprüft am 27.07.2015.

Neumann, P. M.; van Volkenburgh, E.; Cleland, R. E. (1988): Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility. In: *Plant Physiology* 88, S. 233–237.

Niizuma, Y.; Gabrielsen, G. W.; Sato, K.; Watanuki, Y.; Naito, Y. (2007): Brünnich's guillemots (*Uria lomvia*) maintain high temperature in the body core during dives. In: *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 147 (2), S. 438–444.

Nitzan, D. W.; Etsion, I. (2002): Adhesive force: the underlying cause of the disc anchorage to the fossa and/or eminence in the temporomandibular joint—a new concept. In: *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 31 (1), S. 94–99.

Novak, J. D.; Cañas, A. J. (2008): The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. Institute for Human and Machine Cognition, IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008. Florida. Online verfügbar unter <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>.

Nultsch, W. (2001): Allgemeine Botanik. 11. Aufl. Stuttgart: Thieme.

O'Dor, R. K.; Wells, M. J. (1978): Reproduction versus somatic growth: hormonal control in *Octopus vulgaris*. In: *The Journal of Experimental Biology* 77, S. 15–31.

Oertel, D.; Grunwald, A. (2006): Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik. Hg. v. TAB - Büro für Technologiefolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag.

Otto, K.-S.; Speck, T. (2011): Darwin meets Business. Evolutionäre und bionische Lösungen für die Wirtschaft. Wiesbaden: Springer Gabler.

Pagitz, M.; Bold, J. (2013): Shape-changing shell-like structures. In: *Bioinspiration & Biomimetics* 8 (1), S. 16010. DOI: 10.1088/1748-3182/8/1/016010.

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K. H. (2013): Erstellung eines Konzepts für das Produkt. In: J. Feldhusen und K. H. Grote (Hg.): Pahl/ Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 341–380.

Pahl, G.; Wallace, K. (2002): Using the Concept of Functions to Help Synthesise Solutions. In: A. Chakrabarti (Hg.): Engineering Design Synthesis. Understanding Approaches and Tools. London: Springer, S. 109–120.

Pang, C.; Tai, Y. C.; Burdick, J. W.; Andersen, R. A. (2006): Electrolysis-based diaphragm actuators. In: *Nanotechnology* 17 (4), S. 64–68.

Paul Hansma Research Group (o. J.): Biomaterials Research Overview. Online verfügbar unter <http://hansmalab.physics.ucsb.edu/biomatsresoverview.html>.

Payne, K. C.; Jackson, C. D.; Aizpurua, C. E.; Rojas, O. J.; Hubbe, M. A. (2012): Oil spills abatement: factors affecting oil uptake by cellulosic fibers. In: *Environmental Science and Technology* 46 (14), S. 7725–7730.

Peppas, N. A.; Bures, P.; Leobandung, W.; Ichikawa, H. (2000a): Hydrogels in pharmaceutical formulations. In: *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 50 (1), S. 27–46.

Peppas, N. A.; Huang, Y.; Torres-Lugo, M.; Ward, J. H.; Zhang, J. (2000b): Physicochemical foundations and structural design of hydrogels in medicine and biology. In: *Annual Review of Biomedical Engineering* 2, S. 9–29.

Petie, R.; Muller, M. (2007): Curvature facilitates prey fixation in predatory insect claws. In: *Journal of Theoretical Biology* 44 (4), S. 565–575.

Pezowicz, C. A.; Robertson, P. A.; Broom, N. D. (2005): Intralamellar relationships within the collagenous architecture of the annulus fibrosus imaged in its fully hydrated state. In: *Journal of Anatomy* 207 (4), S. 299–312.

Ponn, J.; Lindemann, U. (2011): Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen. 2. Aufl. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.

Princeton University (o. J.): WordNet. Online verfügbar unter <http://wordnet.princeton.edu/>.

Purves, W. (2001): Life, the Science of Biology. 6. Aufl. Sunderland: Sinauer Associates.

Ranjan, B. S. C.; Srinivasan, V.; Chakrabarti, A. (2013): System-Environment View in Designing. In: A. Chakrabarti (Hg.): CIRP Design 2012. Sustainable Product Development. 22nd CIRP Design 2012 Conference. Bangalore, 28.-30.03.2012. London: Springer, S. 59–70.

Rebholz-Schuhman, D.; Kirsch, H.; Couto, F. (2005): Facts from Text—Is Text Mining Ready to Deliver? In: *PLoS Biology* 3 (2), S. 188–191.

Rommel, S. A.; Caplan, H. (2003): Vascular adaptations for heat conservation in the tail of Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). In: *Journal of Anatomy* 202 (4), S. 343–353.

Röthlein, B. (2013): Künstliche Spinnenseide ist belastbarer als Stahl. WeltN24 GmbH. Online verfügbar unter <http://www.welt.de/wissenschaft/article116631293/Kuenstliche-Spinnenseide-ist-belastbarer-als-Stahl.html>, zuletzt geprüft am 14.07.2015.

Rummel, G. (o. J.): Bionic Consult. Hg. v. G. Rummel. Online verfügbar unter <http://www.bionic-consult.de>.

Rummel, G. (2014): SQAT® – ein strategisches Tool zur bionischen Innovation. In: C. Herstatt, K. Kalogerakis und M. Schulthess (Hg.): Innovationen durch Wissenstransfer. Mit Analogien schneller und kreativer Lösungen entwickeln. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 203–224.

- Sarkar, P.; Phaneendra, S.; Chakrabarti, A. (2008): Developing Engineering Products Using Inspiration From Nature. In: *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 8 (3), S. 031001-1-031001-9.
- Schlicksupp, H. (2004): Innovation, Kreativität und Ideenfindung. 6. Aufl. Würzburg: Vogel Buchverlag.
- Seipel, J. E.; Holmes, P. J.; Full, R. J. (2004): Dynamics and stability of insect locomotion: a hexapedal model for horizontal plane motions. In: *Biological Cybernetics* 91 (2), S. 76–90.
- Serwer, P. (2011): Proposed ancestors of phage nucleic acid packaging motors (and cells). In: *Viruses* 3 (7), S. 1249–1280.
- Shah, J. J.; Kulkarni, S., V.; Vargas-Hernandez, N. (2000): Evaluation of Idea Generation Methods for Conceptual Design: Effectiveness Metrics and Design of Experiments. In: *Journal of Mechanical Design* 122, S. 377–384.
- Shahid, S. A.; Qidwai, A. A.; Anwar, F.; Ullah, I.; Rashid, U. (2012): Improvement in the water retention characteristics of sandy loam soil using a newly synthesized poly(acrylamide-co-acrylic acid)/AlZnFe₂O₄ superabsorbent hydrogel nanocomposite material. In: *Molecules* 17 (8), S. 9397–9412.
- Shen, T.; Lai, J.-C. (2014): Formation of Creative Thinking by Analogical Performance in Creative Works. In: *The European Journal of Social & Behavioural Sciences (EJSBS)*, S. 1159–1167. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.15405/ejsbs.95>.
- Shen, Y.; Skirtach, A. G.; Seki, T.; Yagai, S.; Li, H.; Möhwald, H.; Nakanishi, T. (2010): Assembly of fullerene-carbon nanotubes: temperature indicator for photothermal conversion. In: *Journal of the American Chemical Society* 132 (25), S. 8566–8568.
- Shu, L. H. (2006): Using Biological Analogies for Engineering Problem Solving and Design. In: Proceedings of 3rd CDEN/RCCI International Design Conference. CDEN/RCCI International Design Conference. Toronto, 24.-26.07.2006. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 3: 19th International Conference on Design Theory and Methodology; 1st International Conference on Micro- and Nanosystems; and 9th International Conference on Advanced Vehicle Tire Technologies, Parts A and B), S. 102–107.
- Shu, L. H.; Cheong, H. (2014): A Natural Language Approach to Biomimetic Design. In: A. K. Goel, D. A. McAdams und R. B. Stone (Hg.): *Biologically Inspired Design. Computational Methods and Tools*. London: Springer, S. 29–61.
- Shu, L. H.; Stone, R. B.; McAdams, D. A.; Greer, J. L. (2007): Integrating Function-Based and Biomimetic Design for Automatic Concept Generation. In: J.-C. Bocquet (Hg.): Proceedings of ICED 07. 16th International Conference on Engineering Design. Paris, 28.-31.07.2007: Design Society, S. 181-182 (exec. Summ.).
- Shu, L. H.; Ueda, K.; Chiu, I.; Cheong, H. (2011): Biologically inspired design. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 60, S. 673–693.
- Socha, N.; Bayern Innovativ Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH (2005): Spinnenseide. Hochleistungsfäden der Natur. Informationsdienst Wissenschaft e.V. -idw-. Online verfügbar unter <https://idw-online.de/de/news106656>, zuletzt geprüft am 14.07.2015.

- Soley GmbH (o. J.): Soley. Online verfügbar unter <https://www.soley-technology.com/en/>.
- Speck, T. (o. J.): Kompetenznetz Biomimetik. Hg. v. T. Speck. Online verfügbar unter <http://www.kompetenznetz-biomimetik.de/>.
- SPIEGEL ONLINE GmbH (2015): Spinnenfäden. Elektrische Ladung statt Klebstoff. Online verfügbar unter <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/federfussspinne-produziert-elektrisch-aufgeladene-fangfaeden-a-1015305.html>, zuletzt geprüft am 14.07.2015.
- Srinivasan, V.; Chakrabarti, A. (2009): SAPPPhIRE—an approach to analysis and synthesis. In: M. N. Bergendahl, M. Grimheden, L. Leifer, P. Skogstad und U. Lindemann (Hg.): Proceedings of ICED 09. 17th International Conference on Engineering Design. Palo Alto, 24.-27.08.2009: Design Society (Vol. 2, Design Theory and Research Methodology), S. 417–428.
- Steudle, E. (2000): Water uptake by roots: effects of water deficit. In: *Journal of Experimental Botany* 51 (350), S. 1531–1542.
- Stone, R. B.; Wood, K. L. (2000): Development of a Functional Basis for Design. In: *Journal of Mechanical Design* 122 (4), S. 359–370. DOI: 10.1115/1.1289637.
- Stroble, J. K.; Stone, R. B.; McAdams, D. A.; Goeke, M. S.; Watkins, S. E. (2009a): Automated Retrieval of Non-Engineering Domain Solutions to Engineering Problems. In: R. Roy und E. Shehab (Hg.): Proceedings of the 19th CIRP Design Conference – Competitive Design. Cranfield University, 30.03.-31.03.2009. Bedford: Cranfield University Press, S. 78–85.
- Stroble, J. K.; Stone, R. B.; McAdams, D. A.; Watkins, S. E. (2009b): An Engineering-to-Biology Thesaurus to Promote Better Collaboration, Creativity and Discovery. In: R. Roy und E. Shehab (Hg.): Proceedings of the 19th CIRP Design Conference – Competitive Design. Cranfield University, 30.03.-31.03.2009. Bedford: Cranfield University Press, S. 30–31.
- SupraPolix BV (o. J.): SupraPolix. Online verfügbar unter <http://www.suprapolix.com/>, zuletzt geprüft am 30.07.2015.
- The Biomimicry Institute (o. J.): AskNature. Online verfügbar unter <http://www.asknature.org/>.
- Thinkmap.Inc (o. J.): Visual Thesaurus. Online verfügbar unter www.visualthesaurus.com.
- Tomiya, T.; Kiriya, T.; Takeda, H.; Xue, D.; Yoshikawa, H. (1989): Metamodel: A key to intelligent CAD systems. In: *Research in Engineering Design* 1 (1), S. 19–34.
- Torre-Bueno, J. R. (1976): Temperature regulation and heat dissipation during flight in birds. In: *The Journal of Experimental Biology* 65 (2), S. 471–482.
- Tyrakowski, T.; Kaczorowski, P.; Pawłowicz, W.; Ziółkowski, M.; Smuszkiewicz, P.; Trojanowska, I. et al. (2012): Discrete movements of foot epithelium during adhesive locomotion of a land snail. In: *Folia biologica* 60 (1-2), S. 99–106.
- Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D. (2003): Product Design and Development. 3. Aufl. New York: McGraw-Hill.
- Vakili, V.; Shu, L. H. (2001): Towards Biomimetic Concept Generation. In: J. K. Allen und S. Magleby (Hg.): Proceedings of DETC'01. ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences Design Theory and Methodology. Pittsburgh, 09.-12.09.2001. US: American

Society of Mechanical Engineers (Vol. 4: 13th International Conference on Design Theory and Methodology).

Vandevenne, D.; Caicedo, J.; Verhaegen, P.-A.; Dewulf, S.; Duflou, J. R. (2013): Webcrawling for a Biological Strategy Corpus to Support Biologically-Inspired Design. In: A. Chakrabarti (Hg.): CIRP Design 2012. Sustainable Product Development. 22nd CIRP Design 2012 Conference. Bangalore, 28.-30.03.2012. London: Springer, S. 83–92.

Vandevenne, D.; Verhaegen, P.-A.; Dewulf, S.; Duflou, J. R. (2012): Automatically Populating the Biomimicry Taxonomy for Scalable Systematic Biologically-Inspired Design. In: Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2012. ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Chicago, 12.08.-15.08.2012. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 7: 9th International Conference on Design Education; 24th International Conference on Design Theory and Methodology), S. 383–391.

Vandevenne, D.; Verhaegen, P.-A.; Dewulf, S.; Duflou, J. R. (2015a): A Scalable Approach for Ideation in Biologically Inspired Design. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 29, S. 19–31.

Vandevenne, D.; Verhaegen, P.-A.; Dewulf, S.; Duflou, J. R. (2015b): SEABIRD: Scalable search for systematic biologically inspired design. In: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, S. 1–18.

Vattam, S. S.; Goel, A. K. (2011): Foraging for Inspiration: Understanding and Supporting the Online Information Seeking Practices of Biologically Inspired Designers. In: Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2011. ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Washington, 28.08-31.8.2011. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 9: 23rd International Conference on Design Theory and Methodology; 16th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference), S. 177–186.

Vattam, S. S.; Goel, A. K. (2013): Seeking Bioinspiration Online: a Descriptive Account. In: U. Lindemann, V. Srinivasan, Y. S. Kim, S. W. Lee, J. Clarkson und G. Cascini (Hg.): Proceedings of ICED 13. ICED 13. Seoul, 19.08.-22.08.2013: Design Society (Vol.7: Human Behaviour in Design), S. 347–356.

Vattam, S. S.; Wiltgen, B.; Helms, M. E.; Goel, A. K.; Yen, Jeannette (2011): DANE: Fostering Creativity in and through Biologically Inspired Design. In: T. Taura und Y. Nagai (Hg.): Design Creativity 2010. London: Springer, S. 115–122.

VDI (1993): VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.

VDI (2012): VDI-Richtlinie 6220: Bionik: Konzeption und Strategie Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten

- Vincent, J. F. V.; Bogatyreva, O. A.; Bogatyrev, N. R.; Bowyer, A.; Pahl, A.-K. (2006): Biomimetics: Its Practice and Theory. In: *Journal of the Royal Society, Interface* 3 (9), S. 471–482. DOI: 10.1098/rsif.2006.0127.
- Vogel, S. (2000): Von Grashalmen und Hochhäusern. Mechanische Schöpfungen in Natur und Technik. Weinheim: Wiley-VHC Verlag GmbH.
- Wade, K. R.; Robertson, P. A.; Broom, N. D. (2011): A fresh look at the nucleus-endplate region: new evidence for significant structural integration. In: *European Spine Journal* 20 (8), S. 1225–1232.
- Wang, R.; Addadi, L.; Weiner, S. (1997): Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 352 (1352), S. 469–480.
- Wang, X. P.; Suomalainen, M.; Jorgez, C. J.; Matzuk, M. M.; Werner, S.; Thesleff, I. (2004): Follistatin regulates enamel patterning in mouse incisors by asymmetrically inhibiting BMP signaling and ameloblast differentiation. In: *Developmental Cell* 7 (5), S. 719–730.
- Watson, J. A.; Cribb, B. W.; Hu, H. M.; Watson, G. S. (2011): A dual layer hair array of the brown lacewing: repelling water at different length scales. In: *Biophysical Journal* 100 (4), S. 1149–1155.
- Wehner, R.; Gehring, W. (1995): Zoologie. 23. Aufl. Stuttgart: Thieme.
- Weitkunat, M.; Kaya-Çopur, A.; Grill, S. W.; Schnorrer, F. (2014): Tension and force-resistant attachment are essential for myofibrillogenesis in *Drosophila* flight muscle. In: *Current Biology* 24 (7), S. 705–716.
- Wendy Thomas Laboratory (o. J.): Research Projects in the Wendy Thomas Laboratory. Online verfügbar unter <https://faculty.washington.edu/wendyt/research.html>.
- Williams, M. C. (2007): Stuffing a virus with DNA: dissecting viral genome packaging. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (27), S. 11125–11126.
- Wilson, J.; Chang, P.; Yim, S.; Rosen, D. W. (2009): Developing a Bio-Inspired Design Repository Using Ontologies. In: Proceedings of the ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference I-DETC/CIE 2009. ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. San Diego, 30.8.-02.09.2009. US: American Society of Mechanical Engineers (Volume 8: 14th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference; 6th Symposium on International Design and Design Education; 21st International Conference on Design Theory and Methodology, Parts A and B), S. 799–808.
- Wu, Z.; Cheng, S.; He, F.; Fu, G.; Jin, J.; Chen, H. (2002): Design and purification performance of vertical flow constructed wetland. In: *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 13 (6), S. 715–718.
- Xu, B.; Li, Y.; Fang, X.; Thouas, G.; Cook W. D.; Newgreen, D. F.; Chen, Q. (2013): Mechanically tissue-like elastomeric polymers and their potential as a vehicle to deliver functional

cardiomyocytes. In: *Journal of the Mechanical Behaviour of Biomedical Materials* 28, S. 354–365.

Yan, L.; Wang, S. H.; Luo, W. G.; Huang, J.; Zhong, Q. S. (2006): Study on the oxygen condition in subsurface flow wetlands in operation. In: *Huan Jing Ke Xue* 27 (10), S. 2009–2013.

Yang, B.; Lan, C. Y.; Yang, C. S.; Liao, W. B.; Chang, H.; Shu, W. S. (2006): Long-term efficiency and stability of wetlands for treating wastewater of a lead/zinc mine and the concurrent ecosystem development. In: *Environmental Pollution* 143 (3), S. 499–512.

Ye, J.; Hao, Z.; Yu, D.; Yan, H.; Feng, D. (2004): Research advances in bryophyte ecological function. In: *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 15 (10), S. 1939–1942.

Yen, J.; Helms, M. E.; Goel, A. K.; Tovey, C.; Weissburg, M. (2014): Adaptive Evolution of Teaching Practices in Biologically Inspired Design. In: A. K. Goel, D. A. McAdams und R. B. Stone (Hg.): *Biologically Inspired Design. Computational Methods and Tools*. London: Springer.

Yen, J.; Weissburg, M.; Helms, M. E.; Goel, A. K. (2011): Biologically Inspired Design: A Tool for Interdisciplinary Education. In: Yoseph Bar-Cohen (Hg.): *Biomimetics. Nature-based Innovation*. Boca Raton: CRC Press - Taylor and Francis Group, S. 331–360.

Yuan, D. H.; Jing, L. J.; Gao, S. X.; Yin, D. Q.; Wang, L. S. (2005): Analysis on the removal efficiency of phosphorus in some substrates used in constructed wetland systems. In: *Huan Jing Ke Xue* 26 (1), S. 51–55.

Yuan, J. J.; Jin, R. H. (2011): Approaches to nanostructure control and functionalizations of polymer@silica hybrid nanoglass generated by biomimetic silica mineralization on a self-assembled polyamine layer. In: *Beilstein Journal of Nanotechnology* 2, S. 760–773.

Zhang, Y.; Wu, F.; Liu, L.; Yao, J. (2013): Synthesis and urea sustained-release behavior of an eco-friendly superabsorbent based on flax yarn wastes. In: *Carbohydrate Polymers* 91 (1), S. 277–283.

Zhang, Z.; Kottadiel, V. I.; Vafabakhsh, R.; Dai, L.; Chemla, Y. R.; Ha, T.; Rao, V. B. (2011): A promiscuous DNA packaging machine from bacteriophage T4. In: *PLoS Biology* 9 (2), S. e100592.

Zhong, K.; Lin, Z. T.; Zheng, X. L.; Jiang, G. B.; Fang, Y. S.; Mao, X. Y.; Liao, Z. W. (2013): Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. In: *Carbohydrate Polymers* 92 (2), S. 1367–1376.

14. Anhang

14.1 Fallbeispiel Spinnseide

Tabelle 14-1 und Tabelle 14-2 zeigen die für das Fallbeispiel Spinnseide untersuchten Publikationen inklusive der Angabe, ob in deren Titeln bzw. *Abstracts* eine Funktion oder Eigenschaft von Spinnseide genannt ist. Die Publikationen wurden am 04.05.2015 über zwei Suchen in *PubMed* ermittelt. In beiden Fällen wurde ohne Filter mit dem Suchwort *spider silk* gesucht. Die Ergebnisse wurden über die *PubMed*-Einstellung *Sort by: Relevance* sortiert. Die 10 relevantesten Publikationen jeder Suche wurden untersucht. Enthielt eine Publikation keine Information über Spinnseide, sondern z. B. nur über Verfahren zu Herstellung oder Nutzung künstlicher Spinnseide, wurde diese übersprungen. Der Unterschied zwischen den Suchen lag in dem Typ der gesuchten Publikationen. In einem Fall wurde in allen Publikationstypen gesucht, im anderen wurde nur der Publikationstyp *Review* gesucht. Über den Publikationstyp *Review* können mehr Forschungsergebnisse zu einem Thema über eine geringere Anzahl Publikationen abgegriffen werden, dafür ermöglicht eine Suche in allen Publikationstypen ein Abgreifen auch der neuesten Forschungsergebnisse zu einem Thema.

Tabelle 14-1: Funktionen und Eigenschaften in den Titeln und Abstracts der für das Fallbeispiel Spinnseide untersuchten Publikationen, Typ: alle Publikationen

| Titel der Publikation | Online-Adresse der Publikation | Funktion ⁴⁶ in Titel/ Abstract genannt | Eigenschaft ⁴⁷ in Titel/ Abstract genannt |
|--|---|---|--|
| Processing of recombinant spider silk proteins into tailor-made materials for biomaterials applications. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24657706 | nein | ja |
| Recent advances in production of recombinant spider silk proteins. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22521455 | nein | ja |
| Invited review current progress and limitations of spider silk for biomedical applications. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21898363 | nein | ja |
| Spider silks from plants – a challenge to create native-sized spidroins. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24092675 | nein | ja |
| A structural view on spider silk proteins and their role in fiber assembly. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22570231 | ja | ja |
| Review the role of terminal domains during storage and assembly of spider silk proteins. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22057429 | ja | ja |
| Recombinant DNA production of spider silk proteins. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24119078 | nein | ja |
| [Engineered spider silk: the intelligent biomaterial of the future. Part I]. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21734322 | nein | ja |
| Spider silk: understanding the structure-function relationship of a natural fiber. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21999996 | ja | ja |
| High-performance spider webs: integrating biomechanics, ecology and behaviour. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21036911 | nein | ja |

⁴⁶ Hier gilt die *BIOscrabble*-Definition einer Funktion aus Kapitel 5.1.2.

⁴⁷ Hier gilt die *BIOscrabble*-Definition einer Eigenschaft aus Kapitel 5.1.2.

Tabelle 14-2: Funktionen und Eigenschaften in den Titeln und Abstracts der für das Fallbeispiel Spinnseide untersuchten Publikationen, Typ: Review

| Titel der Publikation | Online-Adresse der Publikation | Funktion ⁴⁶ in Titel/ Abstract genannt | Eigenschaft ⁴⁷ in Titel/ Abstract genannt |
|---|---|---|--|
| Protein composition correlates with the mechanical properties of spider (<i>Argiope trifasciata</i>) dragline silk. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24313814 | ja | nein |
| Transglutamination allows production and characterization of native-sized ELPylated spider silk proteins from transgenic plants. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24237483 | nein | ja |
| Biomechanics and biocompatibility of woven spider silk meshes during remodeling in a rodent fascia replacement model. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23873006 | nein | ja |
| Compliant threads maximize spider silk connection strength and toughness. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25008083 | ja | ja |
| Glycopolymer functionalization of engineered spider silk protein-based materials for improved cell adhesion. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24700586 | nein | ja |
| Nanoparticle self-assembly by a highly stable recombinant spider wrapping silk protein subunit. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23994530 | nein | ja |
| Nutrient deprivation induces property variations in spider gluey silk. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24523902 | ja | ja |
| Electrostatic charges instigate 'concertina-like' mechanisms of molecular toughening in MaSp1 (spider silk) proteins. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24907767 | nein | ja |
| <i>Nephila clavipes</i> Flagelliform silk-like GGX motifs contribute to extensibility and spacer motifs contribute to strength in synthetic spider silk fibers. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23646825 | nein | ja |
| Spider silk reduces insect herbivory. | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23193048 | ja | nein |

14.2 Suchworte der ^EStudienteilnehmer

Tabelle 14-3 bis Tabelle 14-13 zeigt die von den ^EStudienteilnehmern für die Suche nach biologischen Lösungen für technische Probleme in biologischen Publikationen generierten Suchworte. Die Suchworte sind den Suchwortarten *Funktion*, *Eigenschaft*, *Umwelt* und *Andere* zugeordnet. In Klammern ist vermerkt, ob ein Suchwort ein

- nicht variiertes Suchwort (nV) ist – inklusive während der Suche generierten Suchworten (w), zu welchen *MeSH Terms* (M) zählen, und den Grundfunktionskatalogen von Hill (1997) bzw. der *Assoziationsliste* von Gramann (2004) entnommenen Suchworten.
- ein variiertes Suchwort, also ein Syno-, Hypo, Hyperonym (SHH), Antonym (A) oder eine *Wortstammbasierte Variation* (WV) ist.
- ein unklares Suchwort (?) ist.

Tabelle 14-3: Suchworte von JF inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: JF | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| JF | | | | | | | |
| altering | WV von SHH (alter) | | | water | nV | | |
| purify | nV | | | sewage | nV | | |
| purifying | WV (purify) | | | wastewater | SHH | | |
| clean | nV | | | contaminating | WV (contamination) | | |
| remove | nV | | | contaminate | WV (contamination) | | |
| cleaning | WV (clean) | | | contaminated | WV (contamination) | | |
| cleaned | WV (cleaned) | | | contamination | nV | | |
| change | SHH | | | waste | SHH | | |
| modify | SHH | | | impurity | SHH | | |
| changing | WV von SHH (change) | | | pollution | SHH | | |
| modifying | WV von SHH (modify) | | | polluting | WV von SHH (pollution) | | |
| filtering | nV | | | | | | |
| filtered | SHH (filtering) | | | | | | |
| filter | SHH (filtering) | | | | | | |
| filtration | SHH (filtering) | | | | | | |
| purified | SHH (purify) | | | | | | |
| purification | SHH (purify) | | | | | | |
| sublimating | WV von SHH (sublimate) | | | | | | |
| making pure | WV von SHH (make pure) | | | | | | |
| distilling | WV von SHH (distill) | | | | | | |

Tabelle 14-4: Suchworte von AH inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: AH | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| adhere | nV | hydrophob | WV von w (hydrophobic) | water | nV | surface | w |
| adhesion | WV (adhere) | repellant | ? | rain | nV | interface | w |
| cling | SHH | solid body | ? | precipitation | SHH | bloat | SHH |
| cohere | SHH | open (system) | nV | wet | SHH | aggrade | nV |
| hold fast | SHH | steady | ? | conditions | SHH | tread | nV |
| bind | SHH | | | humidity | nV | gum | nV |
| stand by | SHH | | | snow | nV | protective | ? |
| glue | nV | | | atmospheric | SHH | swell | ? |
| bonde | SHH | | | aqueous | w | | |
| paste | SHH | | | moisture | w | | |
| connect | nV | | | ice | nV | | |
| link | ? (SHH: link up) | | | impact | nV | | |
| link up | SHH | | | | | | |
| tie | SHH | | | | | | |
| unite | SHH | | | | | | |

| Initialien des ^E Studienteilnehmers: AH | | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| be in contact | ? | | | | | | |
| stabilize | nV | | | | | | |
| regulate | ? | | | | | | |
| fix | WV von SHH (fi- xing) | | | | | | |
| fixation | WV von SHH (fi- xing) | | | | | | |
| brace | SHH | | | | | | |
| move | nV | | | | | | |
| movement | WV (move) | | | | | | |
| displace | SHH | | | | | | |
| go | SHH | | | | | | |
| gliding | w | | | | | | |
| be active | SHH | | | | | | |
| run | SHH | | | | | | |
| make a motion | SHH | | | | | | |
| remove | nV | | | | | | |
| transfer | SHH | | | | | | |
| withdraw | SHH | | | | | | |
| get rid of | SHH | | | | | | |
| absorb | nV | | | | | | |
| receive | SHH | | | | | | |
| die away | WV von SHH (die) | | | | | | |
| gathering | SHH | | | | | | |
| grabbing | SHH | | | | | | |
| suck up | SHH | | | | | | |
| soak up | SHH | | | | | | |
| take in | SHH | | | | | | |
| imbibe | SHH | | | | | | |
| assimilate | SHH | | | | | | |
| ingest | SHH | | | | | | |
| occupy | SHH | | | | | | |
| adaption | nV | | | | | | |
| adapt | WV (adaption) | | | | | | |
| adjustment | WVSHH (adjust) | | | | | | |
| adjust | SHH | | | | | | |
| acclimatization | SHH | | | | | | |
| acclimate | WV von SHH (acclimatization) | | | | | | |
| accommodate | WV von SHH (accommodation) | | | | | | |
| accommodation | SHH | | | | | | |
| conformance | SHH | | | | | | |
| conform | WV von SHH (conformance) | | | | | | |
| tuning | SHH | | | | | | |
| fitting | SHH | | | | | | |
| fitment | SHH | | | | | | |
| match | SHH | | | | | | |
| modification | SHH | | | | | | |
| reevaluation | SHH | | | | | | |
| convert | nV | | | | | | |
| change | SHH | | | | | | |
| commute | SHH | | | | | | |
| locomotion | w | | | | | | |
| roll | w | | | | | | |
| cleave | SHH | | | | | | |
| connection | WV (connect) | | | | | | |
| disgust | ? | | | | | | |
| swim | ? | | | | | | |
| touch | ? (SHH: get in touch) | | | | | | |
| repel | w | | | | | | |
| defensively | ? | | | | | | |
| walk | w | | | | | | |

Tabelle 14-5: Suchworte von DM inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialien des ^E Studienteilnehmers: DM | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| maintain | nV | self adapting | nV | temperature | nV | room | ? |
| maintenance | WV (maintain) | high | ? | heat | nV | surface | nV |
| regulate | nV | | | | | | |

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: DM | | | | | | | |
|---|----------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| regulation | WV (regulate) | | | | | | |
| regulating | WV (regulate) | | | | | | |
| control | WV (controlling) | | | | | | |
| change | nV | | | | | | |
| changing | WV (change) | | | | | | |
| conduct | WV (conduction) | | | | | | |
| conductivity | nV | | | | | | |
| conduction | nV | | | | | | |
| alter | WV von SHH (alteration) | | | | | | |
| alteration | SHH | | | | | | |
| altering | WV von SHH (alteration) | | | | | | |
| governing | SHH | | | | | | |
| moderate | SHH | | | | | | |
| moderation | WV von SHH (moderate) | | | | | | |
| moderating | WV von SHH (moderate) | | | | | | |
| modification | SHH | | | | | | |
| insulate | nV | | | | | | |
| isolate | nV | | | | | | |
| isolation | WV (isolate) | | | | | | |
| conservation | WV von SHH (conserving) | | | | | | |
| conserving | SHH | | | | | | |
| preservation | WV von SHH (preserving) | | | | | | |
| preserving | SHH | | | | | | |
| distribute | nV | | | | | | |
| distribution | WV von SHH (distribute) | | | | | | |
| transfer | ? | | | | | | |
| dispersion | SHH | | | | | | |
| dispersing | WV von SHH (dispersing) | | | | | | |
| diffusion | WV von SHH (diffusing) | | | | | | |
| diffusing | SHH | | | | | | |

Tabelle 14-6: Suchworte von MW inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: MW | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| cut | nV | sharp | nV | attrition | SHH | | |
| cutting | WV (cut) | edged | SHH | heat | nV | | |
| abbreviate | SHH | self-sharpening | nV | impact | nV | | |
| saw | SHH | blunting | A | friction | nV | | |
| serrate | SHH | smooth | nV | erosion | SHH | | |
| trim | SHH | even | SHH | | | | |
| abridge | SHH | sharpness | WV (sharp) | | | | |
| notch | SHH | dulling | A von SHH | | | | |
| shear | SHH | deterioration | A von SHH | | | | |
| | | wastage | A von SHH | | | | |
| | | abrasion | A | | | | |

Tabelle 14-7: Suchworte von AM, TR inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen der ^E Studienteilnehmer: AM, TR | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| sharpen | nV | "self sharpening" | nV | friction | ? | teeth | w |
| grind | SHH | self | nV | erosion | ? | sea urchin | w |
| endure | SHH | sharpening | nV | corrosion | ? | mechanism | w |
| | | sharp | WV (sharpen) | | | enamel | w |
| | | hardest | WV (hard) | | | materials | w |
| | | organic | w | | | point | SHH |
| | | rigid | SHH | | | beaver | w |
| | | fatigue | A von SHH | | | | |
| | | tough | WV von SHH (toughness) | | | | |
| | | hard | nV | | | | |
| | | abrasion | ? | | | | |

Tabelle 14-8: Suchworte von MT inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: MT | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|--------------------------|---|--------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| preserve | nV | "flexible joint" | flexible: nV, joint: WV (join) | stress | nV | material | nV |
| cohesion | nV | flexible shape | s.o., shape: SHH | tension | SHH | casing | SHH |
| close | nV | ductile | nV | pressure | SHH | vessel | nV |
| containment | nV | stressed (mate- rial) | stressed: WV (stress) | congestion | nV | junction | WV (join) |
| maintain | SHH | cohesive | WV (cohesion) | volume | SHH | strength | ? |
| bond | SHH | "ductile lock" | ductile: nV, lock: nV | expansion | SHH | occlusion | WV (close) |
| ensure | SHH | malleable | SHH | extension | SHH | wing | ? |
| change | nV | "closure flexibility" | closure: WV (close), flexibility: WV (flexible) | strain | nV | flight | ? |
| manage | SHH | joint | s.o. | | | sphincter | ? |
| deal | SHH | "stress tolerant" | stress: nV, tole- rant: ? | | | animal | ? |
| not fail | fail: A | | | | | plant | ? |
| join | nV | | | | | junction evolu- tion | s.o., evolution: SHH |
| lock | nV | | | | | "closure mechanism" | s.o., mechanism: ? |
| uphold | SHH | | | | | "closure technique" | s.o., technique: ? |
| keep up | SHH | | | | | "closure pro- cess" | s.o., process: ? |
| fail | A | | | | | "closure configuration" | s.o., s.u. |
| guarantee | SHH | | | | | "closure prob- lem" | s.o., problem: ? |
| ensure | SHH | | | | | biological | ? |
| assure | SHH | | | | | shape | SHH |
| prevent | SHH | | | | | configuration | nV |
| break | WV (breakage, break up) | | | | | | |
| breakage | SHH | | | | | | |
| impair | ? | | | | | | |
| block | ? | | | | | | |
| pressurized | WV von SHH (pressure) | | | | | | |
| connect | SHH | | | | | | |
| combine | SHH | | | | | | |
| not disjoin | disjoin: A von SHH | | | | | | |
| not unlock | unlock: A | | | | | | |
| not separate | ? | | | | | | |
| not open | open: A | | | | | | |
| connection | WV (connect) | | | | | | |
| coherency | SHH | | | | | | |
| "lock joint" | lock: nV, joint: WV (join) | | | | | | |
| elongat* | WV | | | | | | |
| compress | WV (compres- sive) | | | | | | |
| link | SHH | | | | | | |
| explosion | nV | | | | | | |
| strain | ? | | | | | | |
| "closure failure" | s.o., failure: WV von A (fail) | | | | | | |
| "lock connection" | s.o. | | | | | | |
| closure | closure: WV (close) | | | | | | |
| defense | ? | | | | | | |
| relaxation | ? | | | | | | |
| "stress response" | stress: nV, response: ? | | | | | | |
| elongation | nV | | | | | | |

Tabelle 14-9: Suchworte von JDM, RM, CM inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen der ^E Studienteilnehmer: JDM, RM, CM | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| hold | nV | strength | nV | stress | nV | strap | w |
| protect | nV | durable | nV | strain | w | "external banding" | w |
| latching | nV | breathable | nV | pressure | nV | material | w |
| latch | WV (latching) | strong | WV (strength) | load | nV | engineering | w |
| closing | nV | specialty | SHH | tension | nV | animal | w |
| grasp | SHH | lasting | SHH | rough | nV | plants | w |

| Initialen der ^E Studienteilnehmer: JDM, RM, CM | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| reduce | nV | stiffness | WV (stiff) | dirt | nV | jaws | w |
| shutting | SHH | stiff | nV | submersion | nV | | |
| clasp | SHH | stable | nV | atmosphäre | SHH | | |
| increase | w | light | nV | abrasive | nV | | |
| stretch | w | relieving | w | force | nV | | |
| dissipate | w | | | | | | |

Tabelle 14-10: Suchworte von FD inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: FD | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| lock | nV | flexible | nV | stress | nV | shell | nV |
| reopen | nV | adaptable | nV | stress, mechanical | M | "closing mechanism" | nV |
| connect | nV | reclosable | nV | | | animal | nV |
| form closure | nV | | | | | physical phenomena | M |
| open | nV | | | | | animals | M |
| | | | | | | mechanical phe- nomena | M |
| | | | | | | physical processes | M |

Tabelle 14-11: Suchworte von FK inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: FK | | | | | | | |
|---|--|----------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| "absorbing wa- ter" | absorbing: WV (absorb), water: ? | high | ? | water | ? | plant | M |
| absorbency | WV (absorb) | "osmotic potential" | osmotic: ?, po- tential: ? | humidity | ? | roots | M |
| "water uptake" | s.o., s.u. | pressure | ? | moisture | ? | sponge | ? |
| "draw water" | draw: SHH, s.o. | hydrophilic | ? | | | mechanism | ? |
| imbibition | ? | successive | ? | | | compounds | ? |
| uptake | WV von SHH (take up) | capability | ? | | | "hygroscopic agents" | hygroscopic: ?, agents: ? |
| absorb | nV | hygroscopic | ? | | | "drying agents" | drying: ?, s.o. |
| imbibe | ? | "water potential" | water: ?, s.o. | | | "absorbent pads" | absorbent: WV (absorb), pads: ? |
| absorption | WV (absorb) | "high osmotic pressure" | s.o. | | | | |
| soak up | SHH | superhydrophilic | ? | | | | |
| drink in | ? | superabsorbent | w (aus gefunde- nem Artikel) | | | | |
| soak up | SHH | deliquescent | ? | | | | |
| sop up | ? | water holding capacity | s.o., holding: ?, capacity: ? | | | | |
| resorb | ? | wettability | M | | | | |
| vacuum up | ? | | | | | | |
| root resorption | root: M, resorption: ? | | | | | | |

Tabelle 14-12: Suchworte von JS inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: JS | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| attach | aus Gramann bzw. Hill | stiffness | nV | friction | w | insect | w |
| link | aus Gramann bzw. Hill | closeable | WV (reclose- able) | temperature | nV | material | w |
| close | aus Gramann bzw. Hill | structural | w | force | w | Gorb (Autor) | w |
| create | aus Gramann bzw. Hill | releasable | w | | | | |
| absorb | aus Gramann bzw. Hill | "water re- sistance" | nV | | | | |
| clamp | aus Gramann bzw. Hill | antislip | nV | | | | |
| attachment | WV von „aus Gramann bzw. Hill“ | reusable | nV | | | | |
| | | mechanical | nV | | | | |
| | | safety | nV | | | | |

Tabelle 14-13: Suchworte von PS inklusive aller nicht variierten, variierten und unklaren Suchworte

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: PS | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| Suchwort Funktion | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Eigenschaft | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Umwelt | Suchwort-(vari- ation) | Suchwort Andere | Suchwort-(vari- ation) |
| connect | SHH | retractable | nV | force | nV | rope | SHH |
| roll up | nV | sliding | M | tension | SHH | filament | M |
| fold | SHH | extensible | SHH | tractive force | SHH | dna | M |
| bundle | SHH | rotary | nV | friction | nV | spindle | SHH |
| rotat* | SHH | mechani* | nV | resistance | nV | cable | nV |
| link | SHH | mechanical | WV | power | nV | cord | SHH |
| connect* | SHH | filamentous | WV von M | erosion | SHH | string | SHH |
| regulate | nV | retractile | SHH | stress | SHH | fibril | M |
| attach* | nV | extendable | SHH | squeeze | SHH | polymer | M |
| wind* around | SHH | extensile | SHH | strain | SHH | strand | SHH |
| reel | M | adaptable | SHH | drag | SHH | fiber | SHH |
| pile up | SHH | gyratory | SHH | stretch | SHH | rod | SHH |
| accumulate | SHH | interlaced | SHH | jerk | SHH | tubule | M |
| decelerate | SHH | abrasion | SHH | rip | SHH | mechanism | WV (mechanics) |
| curl | SHH | divestible | SHH | dangle | WV von SHH (suspension) | shaft | nV |
| slow down | SHH | telescopic | SHH | sling | WV von SHH (suspension) | biophysic* | M (biophysical) |
| adjust* | SHH | twisting | SHH | swing | WV von SHH (suspension) | microtubule | M |
| control | SHH | wangling | SHH | interface | nV | beam | SHH |
| transmit* | SHH | spinning | SHH | interact | WV von SHH (interaction) | tongue | M |
| store | nV | revolving | SHH | propulsion | M | silk fiber | M |
| pack | SHH | interlink* | nV | pull | nV | microfibril | M |
| deflect* | nV | ejection | M | pull* | nV | chain | SHH |
| intertwine* | nV | mechanic* | nV | | | spool | SHH |
| coil | SHH | | | | | wire | SHH |
| swaddle | SHH | | | | | twine | SHH |
| swathe | SHH | | | | | thread | SHH |
| resist | nV | | | | | lace | SHH |
| append | SHH | | | | | string | SHH |
| extend* | SHH | | | | | cylinder | SHH |
| furl | SHH | | | | | | |
| roll | nV | | | | | | |
| cache | SHH | | | | | | |
| cumulate | SHH | | | | | | |
| deposit | SHH | | | | | | |
| liaise | SHH | | | | | | |
| knot | SHH | | | | | | |
| interloop | SHH | | | | | | |
| entangle | SHH | | | | | | |
| reconnect | SHH | | | | | | |
| unite | SHH | | | | | | |
| loop | SHH | | | | | | |
| lag | SHH | | | | | | |
| wrap | SHH | | | | | | |
| tether | SHH | | | | | | |
| hook in* | SHH | | | | | | |
| hook up | SHH | | | | | | |
| hook on | SHH | | | | | | |
| clip | SHH | | | | | | |
| plug | SHH | | | | | | |
| pin on* | SHH | | | | | | |
| mount | SHH | | | | | | |
| fix | SHH | | | | | | |
| add | SHH | | | | | | |
| annex | SHH | | | | | | |
| affix | SHH | | | | | | |
| couple | SHH | | | | | | |
| adhere | SHH | | | | | | |
| tie | SHH | | | | | | |
| bead | M | | | | | | |
| entangled | WV von SHH (entangle) | | | | | | |
| conjunction | WV von SHH (?) | | | | | | |
| junction | WV von SHH (?) | | | | | | |
| attached | nV | | | | | | |
| attach | nV | | | | | | |
| rotate | SHH | | | | | | |
| transmitting | SHH | | | | | | |

14.3 Tabellarische Dokumentation der Lösungssuche der ^EStudienteilnehmer

Tabelle 14-14 bis Tabelle 14-24 zeigt die tabellarischen Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für die gegebenen technischen Probleme der ^EStudienteilnehmer in *Pub-Med*. Gezeigt werden alle Suchanfragen, zu welchen mindestens eine Publikation untersucht wurde, inklusive der Anzahl der resultierenden, durchgesehenen, untersuchten und für die Entwicklung von bionischen Lösungsideen nützlichen biologischen Publikationen sowie der Publikationsorte, der Titel und der Autoren der untersuchten und nützlichen Publikationen.

Tabelle 14-14: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem Wasseraufbereitung des ^EStudienteilnehmers JF in PubMed

| Initialien des ^E Studienteilnehmers: JF | | | | |
|---|----------------|----------------|--|------------|
| Alle Suchanfragen (I trennt zwei Suchanfragen voneinander) | | | | |
| clean water purify water remove contamination clean water clean water purify water remove contamination (clean water) AND remove contamination cleaning water cleaned water cleaning water cleaned water ((change water) OR alter water) OR modify water ((change water) OR alter water) OR modify water ((changing water) OR altering water) OR modifying water (contaminate water) OR contaminating water ((contaminate water) OR contaminating water) OR contaminated water cleaning purifying filtering cleaning purifying filtering (cleaning) AND filtering (purifying) AND filtering (clean) OR cleaned) OR cleaning AND (((filter) OR filtered) OR filtering) OR filtration) (((purify) OR purified) OR purifying) OR purification) AND (((filter) OR filtered) OR filtering) OR filtration) (((purify) OR purified) OR purifying) OR purification) AND ((clean) OR cleaned) OR cleaning changing (cleaning) AND changing sewage contamination (sewage) AND contamination (sewage) AND contamination ((sewage) OR waste) OR wastewater) AND (((contamination) OR impurity) OR pollution) OR soiling water water ((contamination) OR contaminate) OR contaminated) OR contaminating (cleaning) AND sewage (cleaning) AND ((sewage) OR waste) OR wastewater) (purifying) AND sewage (purifying) AND ((sewage) OR waste) OR wastewater) (purifying) AND ((sewage) OR waste) OR wastewater) purify AND ((sewage) OR wastewater) purified AND ((sewage) OR wastewater) purification AND ((sewage) OR wastewater) filtering AND ((sewage) OR wastewater) sublimating AND ((sewage) OR wastewater) making pure AND ((sewage) OR wastewater) distilling AND ((sewage) OR wastewater) contaminating AND ((sewage) OR wastewater) polluting AND ((sewage) OR wastewater) ((cleaning water) OR changing water) OR altering water ((purifying) OR purify) AND ((sewage) OR wastewater) | | | | |
| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
| ((cleaning water) OR changing water) OR altering water | 129 | 129 | Biochem Biophys Res Commun. 2012 Aug 17;425(1):70-5. doi: 10.1016/j.bbrc.2012.07.052. Epub 2012 Jul 20. Transient hyperosmolality modulates expression of cardiac aquaporins. Rutkovskiy A, Mariero LH, Nygård S, Stensløkken KO, Valen G, Vaage J. | nein |
| ((purifying) OR purify) AND ((sewage) OR wastewater) | 87 | 87 | J Phys Chem B. 2010 Mar 18;114(10):3534-42. doi: 10.1021/jp910697s. Longan shell as novel biomacromolecular sorbent for highly selective removal of lead and mercury ions. Huang MR, Li S, Li XG. | nein |
| | | | Huan Jing Ke Xue. 2009 Apr 15;30(4):1066-72. [Phosphorus removal and mechanisms for advanced treatment of sewage by Spirogyra]. [Article in Chinese] Lei GY, Ma J. | nein |
| | | | J Environ Sci (China). 2008;20(5):513-9. Performance of a water hyacinth (Eichhornia crassipes) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed. Lu J, Fu Z, Yin Z. | nein |
| | | | Huan Jing Ke Xue. 2006 Oct;27(10):2009-13. [Study on the oxygen condition in subsurface flow wetlands in operation]. [Article in Chinese] Yan L, Wang SH, Luo WG, Huang J, Zhong QS. | ja |
| | | | Environ Pollut. 2006 Oct;143(3):499-512. Epub 2006 Feb 8. Long-term efficiency and stability of wetlands for treating wastewater of a lead/zinc mine and the concurrent ecosystem development. Yang B, Lan CY, Yang CS, Liao WB, Chang H, Shu WS. | ja |
| | | | Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 2005 Mar;16(3):550-4. [Distribution, migration and purifying effect of cadmium in artificial Avicennia marina wetland system]. [Article in Chinese] Chen G, Chen G. | ja |
| | | | Huan Jing Ke Xue. 2005 Jan;26(1):51-5. [Analysis on the removal efficiency of phosphorus in some substrates used in constructed wetland systems]. [Article in Chinese] Yuan DH, Jing LJ, Gao SX, Yin DQ, Wang LS. | ja |
| | | | Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 2002 Jun;13(6):719-22. [Effects of constructed wetlands on treating with nitrogen and phosphorus in wastewater from hoggery]. [Article in Chinese] Liao X, Luo S. | ja |
| | | | Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 2002 Jun;13(6):715-8. [Design and purification performance of vertical flow constructed wetland]. [Article in Chinese] Wu Z, Cheng S, He F, Fu G, Jin J, Chen H. | ja |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|--|----------------|----------------|--|------------|
| (((maintain[Title]) AND temperature[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title]) | 13 | 13 | Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol. 2007 Jun;147(2):438-44. Epub 2007 Jan 27. Brünnich's guillemots (Uria lomvia) maintain high temperature in the body core during dives. Niizuma Y, Gabrielsen GW, Sato K, Watanuki Y, Naito Y. | ja |
| | | | Wilderness Environ Med. 1997 Feb;8(1):3-7. Does shivering thermogenesis enhance the individual's ability to maintain rectal temperature during immersion in cold water? Glickman-Weiss E, Hearon CM, Nelson AG. | nein |
| (((change[Title]) AND conductivity[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title]) | 18 | 18 | Adv Mater. 2012 Mar 15;24(11):1482-6. doi: 10.1002/adma.201104668. Epub 2012 Mar 5. New secrets of spider silk: exceptionally high thermal conductivity and its abnormal change under stretching. Huang X, Liu G, Wang X. | ja |
| (((regulation[Title]) AND heat[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title]) AND (((room[Title/Abstract]) AND temperature[Title/Abstract]) OR ((high[Title/Abstract]) AND temperature[Title/Abstract])) | 8 | 8 | J Exp Biol. 1976 Oct;65(2):471-82. Temperature regulation and heat dissipation during flight in birds. Torre-Bueno JR. | ja |
| | | | J Physiol. 1976 Jun;258(1):157-71. The regulation of respiratory evaporative heat loss in the rabbit. Stitt JT. | nein |
| (((conservation[Title]) AND heat[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title]) | 14 | 14 | J Anat. 2003 Apr;202(4):343-53. Vascular adaptations for heat conservation in the tail of Florida manatees (Trichechus manatus latirostris). Rommel SA, Caplan H. | ja |
| | | | Proc Natl Acad Sci U S A. 1966 Nov;56(5):1464-9. Heat conservation in tuna fish muscle. Carey FG, Teal JM. | ja |
| (((conserving[Title]) AND heat[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title]) | 4 | 4 | Bioinspir Biomim. 2009 Dec;4(4):046004. doi: 10.1088/1748-3182/4/4/046004. Epub 2009 Nov 17. Nosehouse: heat-conserving ventilators based on nasal counterflow exchangers. Vogel S. | nein |
| (((transfer[Title]) AND heat[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title]) AND (((room[Title/Abstract]) AND temperature[Title/Abstract]) OR ((high[Title/Abstract]) AND temperature[Title/Abstract])) | 57 | 57 | Physiol Biochem Zool. 2010 Nov-Dec;83(6):885-97. doi: 10.1086/657253. Epub 2010 Oct 29. Thermoregulation during flight: body temperature and sensible heat transfer in free-ranging Brazilian free-tailed bats (Tadarida brasiliensis). Reichard JD, Fellows SR, Frank AJ, Kunz TH. | nein |

Tabelle 14-17: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem Selbstschärfung des EStudienteilnehmers MW in PubMed

| Initialen des EStudienteilnehmers: MW | | | | | |
|---|----------------|----------------|--|------------|--|
| Alle Suchanfragen (trennt zwei Suchanfragen voneinander) | | | | | |
| ((cut[Title/Abstract]) OR cutting[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract](((cut[Title]) OR cutting[Title]) AND edged[Title](((cut[Title/Abstract]) OR cutting[Title/Abstract]) AND blunting[Title/Abstract](((cut[Title/Abstract]) OR cutting[Title/Abstract]) AND self-sharpening[Title/Abstract](((cut[Title/Abstract]) OR cutting[Title/Abstract]) AND smooth[Title/Abstract]) AND even[Title/Abstract]((blunting[Title/Abstract]) AND self-sharpening[Title/Abstract]((abrasion[Title/Abstract]) AND self-sharpening[Title/Abstract]((attrition[Title/Abstract]) AND self-sharpening[Title/Abstract]((deterioration[Title/Abstract]) AND self-sharpening[Title/Abstract]((erosion[Title/Abstract]) AND self-sharpening[Title/Abstract]((wastage[Title/Abstract]) AND self-sharpening[Title/Abstract]self-sharpening[Title/Abstract]((abrasion[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((abbreviate[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((saw[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((serrate[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((trim[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((abridge[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((notch[Title/Abstract]) AND sharpness[Title/Abstract]((heat[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((cut[Title/Abstract]) AND heat[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((cut[Title/Abstract]) AND impact[Title/Abstract]((cut[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]) AND impact[Title/Abstract]((cut[Title/Abstract]) AND friction[Title/Abstract]) AND friction[Title/Abstract]) AND sharp[Title/Abstract]((cut[Title/Abstract]) AND friction[Title/Abstract]) AND heat[Title/Abstract]((blunting[Title/Abstract]) AND friction[Title/Abstract]((abrasion[Title/Abstract]) AND friction[Title/Abstract]((saw[Title/Abstract]) AND friction[Title/Abstract]) AND friction[Title/Abstract](((cut[Title/Abstract]) OR cutting[Title/Abstract]) AND dulling[Title/Abstract](((cut[Title/Abstract]) OR cutting[Title/Abstract]) AND abrasion[Title/Abstract]((friction[Title/Abstract]) AND self-sharpening[Title/Abstract])) | | | | | |
| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich | |
| blunting AND self-sharpening | 1 | 1 | Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1997 Apr 29;352(1352):469-80. Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. Wang RZ, Addadi L, Weiner S. <i>Publikation mehrmals gefunden</i> | ja | |
| self-sharpening | 26 | 26 | J Am Chem Soc. 2009 Dec 30;131(51):18404-9. doi: 10.1021/ja907063z. Mechanism of calcite co-orientation in the sea urchin tooth. Killian CE, Metzler RA, Gong YU, Olson IC, Aizenberg J, Politi Y, Wilt FH, Scholl A, Young A, Doran A, Kunz M, Tamura N, Coppersmith SN, Gilbert PU. | ja | |
| | | | Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1997 Apr 29;352(1352):469-80. Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. Wang RZ, Addadi L, Weiner S. <i>Publikation mehrmals gefunden</i> | ja | |
| abrasion AND friction | 82 | 82 | J Struct Biol. 2009 Jun;166(3):272-87. Br-rich tips of calcified crab claws are less hard but more fracture resistant: a comparison of mineralized and heavy-element biological materials. Schofield RM, Niedbala JC, Nesson MH, Tao Y, Shokes JE, Scott RA, Latimer MJ. | nein | |

Tabelle 14-18: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem Selbstschärfung der ^EStudienteilnehmer AM, TR in PubMed

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: AM, TR | | | | |
|---|----------------|----------------|--|------------|
| Alle Suchanfragen (1 trennt zwei Suchanfragen voneinander) | | | | |
| "self sharpening" self AND sharpening sharpening AND teeth Sharpen AND Endure Teeth Grind NOT Surgery NOT Mental NOT Bruxism sea urchin teeth sharp NOT surgery NOT hospital NOT mental NOT injury Mechanism sea urchin teeth NOT surgery NOT hospital NOT mental NOT injury enamel sharp teeth beaver NOT surgery NOT hospital NOT mental NOT injury hardest organic materials NOT injury NOT surgery NOT mental NOT hospital rigid point NOT injury NOT surgery NOT mental NOT hospital fatigue tough NOT injury NOT surgery NOT mental NOT hospital erosion OR friction OR corrosion OR abrasion AND sharpening organic AND (hard OR tough OR rigid) AND sharp | | | | |
| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
| "self-sharpening" | 26 | 26 | J Am Chem Soc. 2009 Dec 30;131(51):18404-9. doi: 10.1021/ja907063z. Mechanism of calcite co-orientation in the sea urchin tooth. Killian CE, Metzler RA, Gong YU, Olson IC, Aizenberg J, Politi Y, Wilt FH, Scholl A, Young A, Doran A, Kunz M, Tamura N, Coppersmith SN, Gilbert PU. Publikation mehrmals gefunden | ja |
| | | | J Phys Chem B. 2006 Feb 23;110(7):3098-108. Silica nanoparticle formation in the TPAOH-TEOS-H2O system: a population balance model. Provis JL, Vlachos DG. | nein |
| | | | Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1997 Apr 29;352(1352):469-80. Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. Wang RZ, Addadi L, Weiner S. Publikation mehrmals gefunden | ja |
| | | | Ann N Y Acad Sci. 1990;582:50-9. Laterally mobile, cortical tension elements can self-assemble into a contractile ring. White JG. | nein |
| self AND sharpening | 65 | 51 | J Am Chem Soc. 2009 Dec 30;131(51):18404-9. doi: 10.1021/ja907063z. Mechanism of calcite co-orientation in the sea urchin tooth. Killian CE, Metzler RA, Gong YU, Olson IC, Aizenberg J, Politi Y, Wilt FH, Scholl A, Young A, Doran A, Kunz M, Tamura N, Coppersmith SN, Gilbert PU. Publikation mehrmals gefunden | ja |
| | | | J Am Chem Soc. 2009 Aug 5;131(30):10557-66. doi: 10.1021/ja902869q. "Breathing" vesicles. Yu S, Azzam T, Rouiller I, Eisenberg A. | nein |
| | | | Nanotechnology. 2008 Nov 5;19(44):445713. doi: 10.1088/0957-4484/19/44/445713. Epub 2008 Sep 30. Ultra-low breakdown voltage and origin of 1/f(2) noise in metallic nanorod arrays. Carvalho D, Ghosh S, Banerjee R, Ayyub P. | nein |
| | | | Aust Dent J. 1998 Jun;43(3):192-8. Thegosis--a critical review. Murray CG, Sanson GD. | nein |
| | | | Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1997 Apr 29;352(1352):469-80. Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. Wang RZ, Addadi L, Weiner S. Publikation mehrmals gefunden | ja |
| | | | Ann N Y Acad Sci. 1990;582:50-9. Laterally mobile, cortical tension elements can self-assemble into a contractile ring. White JG. | nein |
| sharpening AND teeth | 13 | 13 | J Am Chem Soc. 2009 Dec 30;131(51):18404-9. doi: 10.1021/ja907063z. Mechanism of calcite co-orientation in the sea urchin tooth. Killian CE, Metzler RA, Gong YU, Olson IC, Aizenberg J, Politi Y, Wilt FH, Scholl A, Young A, Doran A, Kunz M, Tamura N, Coppersmith SN, Gilbert PU. Publikation mehrmals gefunden | ja |
| | | | Aust Dent J. 1998 Jun;43(3):192-8. Thegosis--a critical review. Murray CG, Sanson GD. | nein |
| | | | Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1997 Apr 29;352(1352):469-80. Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. Wang RZ, Addadi L, Weiner S. Publikation mehrmals gefunden | Ja |
| | | | J Morphol. 1995 Oct;226(1):79-101. Incisal biting in the mountain beaver (<i>Aplodontia rufa</i>) and woodchuck (<i>Marmota monax</i>). Druzinsky RE. | nein |
| | | | J Morphol. 1985 Jan;183(1):25-50. Form and function of the masticatory musculature in the tree sloths, <i>Bradypus</i> and <i>Choloepus</i>. Naples VL. | nein |
| | | | Am J Phys Anthropol. 1984 Sep;65(1):47-60. Mechanisms of honing in the male baboon canine. Walker A. | nein |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|---|----------------|----------------|--|------------|
| sharpen AND endure | 9 | 9 | Am J Forensic Med Pathol. 1993 Mar;14(1):82-4. Sharpening of autopsy tools. Hanzlick R. | nein |
| teeth grind NOT surgery NOT mental NOT bruxism | 12 | 12 | Br Dent J. 2004 Feb 28;196(4):237. Bite marks--the criminal's calling cards. Whittaker DK. | nein |
| | | | Aust Dent J. 2003 Mar;48(1):15-9. Tooth wear prevention: a quantitative and qualitative in vitro study. Kaidonis JA, Gratiaen J, Bhatia N, Richards LC, Townsend GC. | nein |
| | | | Tierarztl Prax. 1996 Feb;24(1):73-8. [Biological role of movement in the temporomandibular joint in sheepdogs and house cats]. [Article in German] Vollmerhaus B, Roos H, Quecke A. | nein |
| | | | J Neurophysiol. 1988 Feb;59(2):528-50. Gastric mill activity in the lobster. I. Spontaneous modes of chewing. Heinzel HG. | nein |
| | | | Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1997 Apr 29;352(1352):469-80. Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. Wang RZ, Addadi L, Weiner S. Publikation mehrmals gefunden | ja |
| Mechanism sea urchin teeth NOT surgery NOT hospital NOT mental NOT injury | 2 | 2 | J Am Chem Soc. 2009 Dec 30;131(51):18404-9. doi: 10.1021/ja907063z. Mechanism of calcite co-orientation in the sea urchin tooth. Killian CE, Metzler RA, Gong YU, Olson IC, Aizenberg J, Politi Y, Witt FH, Scholl A, Young A, Doran A, Kunz M, Tamura N, Coppersmith SN, Gilbert PU. Publikation mehrmals gefunden | ja |
| enamel sharp teeth beaver NOT surgery NOT hospital NOT mental NOT injury | 6 | 6 | Dev Dyn. 2011 Jan;240(1):232-9. doi: 10.1002/dvdy.22502. Evolution and development of the mammalian dentition: insights from the marsupial Monodelphis domestica. Moustakas JE, Smith KK, Hlusko LJ. | nein |
| | | | Dev Cell. 2004 Nov;7(5):719-30. Follistatin regulates enamel patterning in mouse incisors by asymmetrically inhibiting BMP signaling and ameloblast differentiation. Wang XP, Suomalainen M, Jorgez CJ, Matzuk MM, Werner S, Thesleff I. | ja |
| hardest organic materials NOT injury NOT surgery NOT mental NOT hospital | 5 | 5 | Science. 2008 Mar 28;319(5871):1816-9. doi: 10.1126/science.1154117. The transition from stiff to compliant materials in squid beaks. Miserez A, Schneberk T, Sun C, Zok FW, Waite JH. | nein |
| | | | J Bone Miner Res. 2003 Nov;18(11):2052-9. Enamel structure properties controlled by engineered proteins in transgenic mice. Fong H, White SN, Paine ML, Luo W, Snead ML, Sarikaya M. | nein |
| rigid point NOT injury NOT surgery NOT mental NOT hospital | 1351 | 20 | J Mech Behav Biomed Mater. 2014 Feb;30:223-33. doi: 10.1016/j.jmbm.2013.09.009. Epub 2013 Sep 19. Bending mechanics of the red-eared slider turtle carapace. Achrai B1, Bar-On B2, Wagner HD3. | nein |
| fatigue tough NOT injury NOT surgery NOT mental NOT hospital | 6 | 6 | Nat Mater. 2013 Oct;12(10):932-7. doi: 10.1038/nmat3713. Epub 2013 Jul 28. Physical hydrogels composed of polyampholytes demonstrate high toughness and viscoelasticity. Sun TL, Kurokawa T, Kuroda S, Ihsan AB, Akasaki T, Sato K, Haque MA, Nakajima T, Gong JP. | nein |
| erosion OR friction OR corrosion OR abrasion AND sharpening | 8 | 8 | Nat Commun. 2012 Jul 3;3:935. doi: 10.1038/ncomms1907. Field-directed sputter sharpening for tailored probe materials and atomic-scale lithography. Schmucker SW1, Kumar N, Abelson JR, Daly SR, Girolami GS, Bischof MR, Jaeger DL, Reidy RF, Gorman BP, Alexander J, Ballard JB, Randall JN, Lyding JW. | nein |
| | | | Nanotechnology. 2008 Nov 5;19(44):445713. doi: 10.1088/0957-4484/19/44/445713. Epub 2008 Sep 30. Ultra-low breakdown voltage and origin of 1/f(2) noise in metallic nanorod arrays. Carvalho D, Ghosh S, Banerjee R, Ayyub P. | nein |
| | | | Aust Dent J. 1998 Jun;43(3):192-8. Thegosis--a critical review. Murray CG, Sanson GD. | nein |
| | | | Med Tekh. 1992 May-Jun;(3):27-30. [The use of a magnetically abrasive finishing for sharpening the blades of medical instruments]. [Article in Russian] Altareva GI, Vorob'eva LA, Gafarov RR, Efremov VD, Skvorchevskii NIa. | nein |
| | | | Nanoscale. 2011 Nov;3(11):4632-9. doi: 10.1039/c1nr10487j. Epub 2011 Aug 22. Oxide nanocrystal based nanocomposites for fabricating photoplastic AFM probes. Ingrosso C, Martin-Olmos C, Llobera A, Innocenti C, Sangregorio C, Striccoli M, Agostiano A, Voigt A, Gruetznern G, Brugger J, Perez-Murano F, Curri ML. | nein |
| organic AND (hard OR tough OR rigid) AND sharp | 14 | 14 | Langmuir. 2004 Dec 21;20(26):11499-503. Exploiting poly(dimethylsiloxane)-modified tips to evaluate frictional behavior by friction force microscopy. Cho JH, Lee DH, Shin HS, Pattanayek SK, Ryu CY, Cho K. | nein |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|----------------------------------|----------------|----------------|--|------------|
| | | | Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1997 Apr 29;352(1352):469-80. Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. Wang RZ, Addadi L, Weiner S. Publikation mehrmals gefunden | ja |

Tabelle 14-19: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem Spannungsreduzierung des ^EStudienteilnehmers MT in PubMed

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: MT | | | | | |
|--|----------------|----------------|--|------------|--|
| Alle Suchanfragen (I trennt zwei Suchanfragen voneinander) | | | | | |
| "manage congestion" "manage volume" "manage AND congestion" "deal AND congestion" "not fail" AND congestion join AND material AND tension join AND material AND stress "handle expansion" "handle extension" "lock AND casing" "join material" AND ductile "close OR lock" AND vessel "mh:noexp" AND stress NOT blood lock AND casing AND tension "preserve AND cohesion AND (tension OR stress)" "maintain AND cohesion AND (tension OR stress)" "uphold AND cohesion AND (tension OR stress)" "keep up AND cohesion AND (tension OR stress)" "fail AND cohesion AND (tension OR stress)" "guarantee AND cohesion AND (tension OR stress)" "ensure AND cohesion AND (tension OR stress)" "assure AND cohesion AND (tension OR stress)" "prevent AND breakage AND (tension OR stress) NOT protein "prevent AND break AND (tension OR stress) NOT protein "impair AND break AND (tension OR stress)" "block AND break AND (tension OR stress)" "join AND pressurized AND volume" "join AND "stressed material" "ductile AND connect" "preserve AND cohesive" AND (tension OR stress)" "pressure "mh:noexp" AND close AND tension "combine AND under AND tension" "not disjoin" AND (stress OR tension)" "not unlock" AND (stress OR tension)" "not separate" AND (tension OR stress)" "not open" AND (tension OR stress)" "pressurized AND volume AND cohesion" "pressurized AND volume AND connection" "pressurized AND volume AND coherency" "pressurized AND volume AND coherence" "cohesion AND "tensile stress" "ductile lock" "malleable AND lock" "closure flexibility" "ductile AND connection" "lock joint" "flexible joint" "lock AND elongat" AND compress "joint AND elongat" AND compress "link AND elongat" AND compress "junction AND elongat" AND compress "explosion AND cohesion" "lock AND strain NOT protein" "lock AND strength AND (tension OR strain)" "closure failure" AND (stress OR tension)" "closure failure" NOT aortic "lock connection" AND tension" "lock connection" AND stress "occlusion AND (stress OR tension) AND flexible NOT dental "strength AND closure AND flexible" "stress AND defense AND cohesion" "stress OR strain" AND closure AND flexible NOT wound "stress tolerant" AND (join OR closure)" "lock AND relaxation AND pressure" "lock AND relaxation AND stress" "close AND pressure AND cohesion" "lock AND pressure AND cohesion" "join AND pressure AND cohesion" "lock AND wing AND flight" "wing AND join" AND flight" "wing AND connect AND flight" "wing AND tension AND flight" "sphincter AND (tension OR stress) AND strain" "sphincter AND animal AND close AND (stress OR tension)" "stress response" AND (join OR closure) AND plant" "flexible AND bond AND (tension OR stress)" "junction AND elongation AND (tension OR stress)" "junction evolution AND stress" "closure principle" "closure mechanism" AND (tension OR stress) NOT incontinence" "closure technique" AND (tension OR stress) NOT surgery" "closure process" AND (stress OR tension)" "closure configuration" AND (tension OR stress)" "closure problem" AND (stress OR tension)" "biological AND containment AND lock" "biological AND containment AND (stress OR tension)" "biological AND containment AND impact AND cohesion" "containment AND pressure AND cohesion" "containment AND impact AND cohesive" "containment AND impact AND join" "containment AND plant AND (stress OR tension)" "maintain OR uphold OR keep up OR preserve OR guarantee OR assure OR ensure" AND (cohesion OR coherence OR cohesiveness OR bond) AND (tension OR stress)" "change AND (configuration OR shape) AND (stress OR tension) AND flexible | | | | | |
| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich | |
| preserve AND cohesion AND (tension OR stress) | 4 | 4 | Acta Biomater. 2012 Sep;8(9):3349-59. doi: 10.1016/j.actbio.2012.05.005. Epub 2012 May 12. Cohesive behavior of soft biological adhesives: experiments and modeling. Dastjerdi AK, Pagano M, Kaartinen MT, McKee MD, Barthelat F. | ja | |
| | | | Eur Spine J. 2011 Aug;20(8):1225-32. doi: 10.1007/s00586-011-1704-y. Epub 2011 Feb 15. A fresh look at the nucleus-endplate region: new evidence for significant structural integration. Wade KR, Robertson PA, Broom ND. Publikation mehrmals gefunden | ja | |
| | | | Curr Top Dev Biol. 1998;37:263-99. Chromosome segregation during meiosis: building an unambivalent bivalent. Moore DP, Orr-Weaver TL. | nein | |
| pressure "mh:noexp" AND close AND tension | 46 | 46 | Nature. 2009 Sep 3;461(7260):120-4. doi: 10.1038/nature08277. Epub 2009 Aug 23. Structure of a tetrameric MscL in an expanded intermediate state. Liu Z, Gandhi CS, Rees DC. | ja | |
| "flexible joint" | 42 | 42 | Plast Reconstr Surg. 1991 Dec;88(6):1044-54. The basic types of scar contractures after burns and methods of eliminating them with trapezeplasty flaps. Grishevich V. | nein | |
| containment AND pressure AND cohesion | 2 | 2 | J Anat. 2005 Oct;207(4):299-312. Intralaminar relationships within the collagenous architecture of the annulus fibrosus imaged in its fully hydrated state. Pezowicz CA, Robertson PA, Broom ND. | ja | |
| (maintain OR uphold OR keep up OR preserve OR guarantee OR assure OR ensure) AND (cohesion OR coherence OR cohesiveness OR bond) AND (tension OR stress) | 221 | 221 | Eur Spine J. 2011 Aug;20(8):1225-32. doi: 10.1007/s00586-011-1704-y. Epub 2011 Feb 15. A fresh look at the nucleus-endplate region: new evidence for significant structural integration. Wade KR, Robertson PA, Broom ND. Publikation mehrmals gefunden | ja | |
| | | | Nature. 2010 Nov 25;468(7323):576-9. doi: 10.1038/nature09594. Tension directly stabilizes reconstituted kinetochore-microtubule attachments. Akiyoshi B, Sarangapani KK, Powers AF, Nelson CR, Reichow SL, Arellano-Santoyo H, Gonen T, Ranish JA, Asbury CL, Biggins S. | ja | |
| | | | PLoS Biol. 2006 Sep;4(9):e298. Uncoiling mechanics of Escherichia coli type I fimbriae are optimized for catch bonds. Forero M, Yakovenko O, Sokurenko EV, Thomas WE, Vogel V. | ja | |
| | | | Mech Chem Biosyst. 2004 Mar;1(1):37-52. Flaw tolerant bulk and surface nanostructures of biological systems. Gao H, Ji B, Buehler MJ, Yao H. | ja | |
| change AND (configuration OR shape) AND (stress OR tension) AND flexible | 17 | 17 | J Cell Biol. 1976 Mar;68(3):688-704. Functional significance of the variations in the geometrical organization of tight junction networks. Hull BE, Staehelin LA. | ja | |

Tabelle 14-20: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem Spannungsreduzierung der EStudienteilnehmer JDM, RM, CM in PubMed

| Initialien des EStudienteilnehmers: JDM, RM, CM | | | | |
|---|----------------|----------------|---|------------|
| Alle Suchanfragen (trennt zwei Suchanfragen voneinander – die Nutzung des Booleschen Operators NOT geht aus der Dokumentation des EStudienteilnehmer nicht immer klar hervor, da diese für die Auswertung für „Alle Suchanfragen“ keine Rolle spielt, sind die Suchanfragen ohne NOT gelistet) | | | | |
| hold AND protect strength AND latch closing AND latching, latch stress AND strain durable AND grasp force AND dissipate strap AND pressure reduce AND stress AND protect load AND latch "External Banding" breathable AND strong breathable AND specialty breathable AND durable material AND material reduce stress AND material AND engineering latching protect AND reduce tension closing AND strength AND durable shutting AND strength rough AND material lasted AND stiffness hold AND atmosphere AND submersion material AND clasp AND load stiff AND abrasive lasting AND stable AND material clasp AND material AND engineering closing AND light AND force closing AND stiff AND force closing AND stable AND force hold AND stiff reduce stress AND durable reduce stress AND material AND biological reduce stress AND material AND biological latch grasp AND close protect AND stiff closing AND stiff latching AND force hold AND stiffness AND force pressure AND relieving increase AND strength AND animal increase AND strength AND plants stretch AND material stretch AND material AND strong strong AND jaws | | | | |
| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
| hold AND protect NOT HIV NOT disease | 164 | 12 | Analyst. 2012 Oct 7;137(19):4539-45. doi: 10.1039/c2an35417a. DNA microarray fabricated on poly(acrylic acid) brush-coated porous silicon by in situ rolling circle amplification. Wang C, Jia XM, Jiang C, Zhuang GN, Yan Q, Xiao SJ. Cell Biol Toxicol. 2013 Dec;29(6):397-405. doi: 10.1007/s10565-013-9262-1. Epub 2013 Sep 27. Molecular basis of active copper resistance mechanisms in Gram-negative bacteria. Bondarczuk K, Piotrowska-Seget Z. Chembiochem. 2007 May 7;8(7):704-17. Protein-small molecule interactions in neocarzinostatin, the prototypical enediyne chromoprotein antibiotic. Baker JR, Woolfson DN, Muskett FW, Stoneman RG, Urbaniak MD, Caddick S. Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol. 2011 Aug;301(2):G197-202. doi: 10.1152/ajpgi.00046.2011. Epub 2011 May 12. Pharyngeal airway protective reflexes are triggered before the maximum volume of fluid that the hypopharynx can safely hold is exceeded. Dua K, Surapaneni SN, Kuribayashi S, Hafeezullah M, Shaker R. Cell Biochem Funct. 2012 Aug;30(6):505-14. doi: 10.1002/cbf.2829. Epub 2012 May 20. Human adipose tissue-derived stem cells protect impaired cardiomyocytes from hypoxia/reoxygenation injury through hypoxia-induced paracrine mechanism. Yang J, Zhang H, Zhao L, Chen Y, Liu H, Zhang T. | nein |
| strength AND latch | 9 | 5 | Biochim Biophys Acta. 2013 Oct;1830(10):4634-41. doi: 10.1016/j.bbagen.2013.05.042. Epub 2013 Jun 6. Unphosphorylated calponin enhances the binding force of unphosphorylated myosin to actin. Roman HN, Zitouni NB, Kachmar L, Ijima G, Hilbert L, Matusovsky O, Benedetti A, Sobieszek A, Lauzon AM. Langmuir. 2013 Oct 22;29(42):13018-22. doi: 10.1021/la4029172. Epub 2013 Oct 10. Forces driving the attachment of Staphylococcus epidermidis to fibrinogen-coated surfaces. Herman P, El-Kirat-Chatel S, Beaussart A, Geoghegan JA, Vanzielegthem T, Foster TJ, Hols P, Mahillon J, Dufrene YF. J Prosthet Dent. 1997 Mar;77(3):332-4. The split-post lock: an alternative lock for hinge clasps and swing-lock removable partial dentures. Cameron DA. | nein |
| closing AND latching, latch | 8 | 2 | Proc Natl Acad Sci U S A. 2005 Mar 8;102(10):3599-604. Epub 2005 Feb 28. Structural and mechanistic analysis of two prolyl endopeptidases: role of interdomain dynamics in catalysis and specificity. Shan L, Mathews II, Khosla C. | nein |
| stress AND strain | 18551 | 15 | Sci Rep. 2013 Oct 23;3:3027. doi: 10.1038/srep03027. Guided fracture of films on soft substrates to create micro/nano-feature arrays with controlled periodicity. Kim BC, Matsuoka T, Moraes C, Huang J, Thouless MD, Takayama S. ACS Appl Mater Interfaces. 2013 Oct 23;5(20):10027-34. doi: 10.1021/am402415g. Epub 2013 Oct 8. Transparent luminescent hyperbranched epoxy/carbon oxide dot nanocomposites with outstanding toughness and ductility. De B, Voit B, Karak N. | nein |
| durable AND grasp | 33 | 6 | J Dent. 2012 Jul;40(7):594-602. doi: 10.1016/j.jdent.2012.04.001. Epub 2012 Apr 12. The influence of long term water immersion on shear bond strength of amalgam repaired by resin composite and mediated by adhesives or resin modified glass ionomers. Pilo R, Nissan J, Shafir H, Shapira G, Alter E, Brosh T. J Mech Behav Biomed Mater. 2012 May;9:207-16. doi: 10.1016/j.jmbbm.2012.01.011. Epub 2012 Feb 14. Development of thermo-mechanical processing for fabricating highly durable β-type Ti-Nb-Ta-Zr rod for use in spinal fixation devices. Narita K, Niinomi M, Nakai M, Hieda J, Oribe K. | nein |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|---|----------------|----------------|--|------------|
| force AND dissipate | 106 | 11 | J. Acoust. Soc. Am. 134, 4197 (2013); http://dx.doi.org/10.1121/1.4831398 stiffness Theoretical and experimental analysis of shock isolation using non linear stiffness Diego Ledezma, Jose de Jesus Villalobos-Luna, Neil Ferguson, Michael Brennan <i>In PubMed nicht mehr zu finden</i> | nein |
| | | | BMC Microbiol. 2009 Jan 29;9:20. doi: 10.1186/1471-2180-9-20. Mechanism of protonophores-mediated induction of heat-shock response in Escherichia coli. Jana B, Panja S, Saha S, Basu T. | nein |
| strap AND pressure | 87 | 11 | Am J Vet Res. 2005 Jul;66(7):1167-74. Effects of tension of the girth strap on respiratory system mechanics in horses at rest and during hyperpnea induced by administration of lobeline hydrochloride. Hoffman AM, Swanson LG, Bruns SJ, Kuehn H, Bedenice D. | ja |
| | | | Equine Vet J Suppl. 1999 Jul;(30):52-6. Influence of girth strap tensions on athletic performance of racehorses. Bowers JR, Slocombe RF. | ja |
| | | | J Voice. 1997 Mar;11(1):23-32. The role of strap muscles in phonation--in vivo canine laryngeal model. Hong KH, Ye M, Kim YM, Kevorkian KF, Berke GS. | ja |
| load AND latch | 27 | 5 | J Theor Biol. 2012 Mar 21;297:176-86. doi: 10.1016/j.jtbi.2011.11.012. Epub 2011 Nov 18. Experiments and mechanochemical modeling of smooth muscle contraction: significance of filament overlap. Murtada SC1, Amer A, Holzapfel GA. | ja |
| | | | Traffic Inj Prev. 2008;9(3):243-55. doi: 10.1080/15389580801975210. Load limiting behavior in CRS tether anchors as a method to mitigate head and neck injuries sustained by children in frontal crash. Kapoor T, Altenhof W, Tot M, Zhang W, Howard A, Rasico J, Zhu F, Mizuno K. | nein |
| "external banding" | 15 | 2 | Am J Pathol. 1998 Dec;153(6):1723-9. Eliminating arterial pulsatile strain by external banding induces medial but not neointimal atrophy and apoptosis in the rabbit. Courtman DW, Cho A, Langille L, Wilson GJ. | ja |
| breathable AND strong | 4 | 1 | Dan Med Bull. 2008 Feb;55(1):72-7. Advanced textile materials and biopolymers in wound management. Petruyte S. | nein |
| breathable AND speciality NOT medical | 8 | 1 | Dermatitis. 2004 Dec;15(4):184-91. Optimizing skin protection with semipermeable gloves. Wulfhorst B, Schwanitz HJ, Bock M. | nein |
| closing AND light AND force NOT medical NOT disease | 24 | 3 | Med Devices (Auckl). 2013 Jun 28;6:97-104. doi: 10.2147/MDER.S39604. Print 2013. Design and assessment of a low-cost, electromyographically controlled, prosthetic hand. Polisiero M, Bifulco P, Liccardo A, Cesarelli M, Romano M, Gargiulo GD, McEwan AL, D'Apuzzo M. | nein |
| closing AND stiff AND force NOT medical NOT disease | 4 | 1 | J Med Eng Technol. 1989 Jan-Apr;13(1-2):129-33. Body-powered hand prosthesis with low operating power for children. Kruit J, Cool JC. | nein |
| closing AND stable AND force NOT medical NOT disease | 13 | 1 | Biophys Chem. 2008 Jun;135(1-3):19-24. doi: 10.1016/j.bpc.2008.02.017. Epub 2008 Mar 6. Study on the mechanism of the BtuF periplasmic-binding protein for vitamin B12. Liu M, Sun T, Hu J, Chen W, Wang C. | nein |
| hold AND stiff | 15 | 2 | Langmuir. 2013 May 28;29(21):6495-501. doi: 10.1021/la401267u. Epub 2013 May 15. Controlled morphology of thin film silicon integrated with environmentally responsive hydrogels. Chatterjee P, Pan Y, Stevens EC, Ma T, Jiang H, Dai LL. | nein |
| reduce stress AND material AND biological NOT medical | 139 | 5 | J Biomech. 2007;40(12):2774-80. Epub 2007 Mar 23. The potential influence of the heel counter on internal stress during static standing: a combined finite element and positional MRI investigation. Spears IR, Miller-Young JE, Sharma J, Ker RF, Smith FW. | nein |
| closing AND stiff NOT medical NOT disease | 14 | 3 | J Anat. 1989 Feb;162:133-48. The functional significance of the position of the centre of rotation for jaw opening and closing in the rabbit. Weijs WA, Korfage JA, Langenbach GJ. | nein |
| latching AND force | 3 | 3 | Nanotechnology. 2006 Feb 28;17(4):S64-8. doi: 10.1088/0957-4484/17/4/010. Epub 2006 Jan 25. Electrolysis-based diaphragm actuators. Pang C, Tai YC, Burdick JW, Andersen RA. | ja |
| increase AND strength AND animal | 7488 | 2 | Anim Sci J. 2014 Mar;85(3):305-12. doi: 10.1111/asj.12147. Epub 2013 Nov 21. Gender, caponization and exogenous estrogen effects on lipids, bone and blood characteristics in Taiwan country chickens. Chen SY, Li TY, Tsai CH, Lo DY, Chen KL. | nein |
| | | | Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys. 2013 Jul;88(1):012703. Epub 2013 Jul 3. Sacrificial bonds and hidden length in biomaterials: a kinetic constitutive description of strength and toughness in bone. Lieuou CK, Elbanna AE, Carlson JM. | ja |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|---|----------------|----------------|--|------------|
| increase AND strength AND plants | 725 | 7 | Int J Biol Macromol. 2013 Jul;58:1-6. doi: 10.1016/j.ijbio-mac.2013.03.047. Epub 2013 Mar 26. Wood plastic composite using graphene nanoplatelets. Sheshmani S, Ashori A, Fashapoyeh MA. | nein |
| | | | Carbohydr Polym. 2013 Jan 30;92(1):733-40. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.09.085. Epub 2012 Oct 8. Specific enzymatic tailoring of wheat arabinoxylan reveals the role of substitution on xylan film properties. Heikkinen SL, Mikkonen KS, Pirkkalainen K, Serimaa R, Joly C, Tenkanen M. | nein |
| | | | J Med Food. 2012 Jul;15(7):664-70. doi: 10.1089/jmf.2011.0296. Epub 2012 Apr 17. Yacon flour and Bifidobacterium longum modulate bone health in rats. Rodrigues FC, Castro AS, Rodrigues VC, Fernandes SA, Fontes EA, de Oliveira TT, Martino HS, de Lucas Fortes Ferreira CL. | nein |
| stretch AND material | 522 | 8 | J Vis Exp. 2013 Dec 15;(82):e50825. doi: 10.3791/50825. Nonhuman primate lung decellularization and recellularization using a specialized large-organ bioreactor. Bonvillain RW, Scarratt ME, Pashos NC, Mayeux JP, Meshberger CL, Betancourt AM, Sullivan DE, Bunnell BA. | nein |
| stretch AND material AND strong NOT medical NOT human | 16 | 6 | New Phytol. 2014 Jan;201(2):388-402. doi: 10.1111/nph.12473. Epub 2013 Aug 29. My body is a cage: mechanisms and modulation of plant cell growth. Braidwood L, Breuer C, Sugimoto K. | nein |
| | | | Philos Trans A Math Phys Eng Sci. 2006 Jan 15;364(1838):15-30. doi: 10.1098/rsta.2005.1678. The properties of foams and lattices. Ashby MF. | nein |
| | | | J Morphol. 2006 Aug;267(8):987-99. Jaw muscle functional anatomy in northern grasshopper mouse, Onychomys leucogaster, a carnivorous murid. Satoh K, Iwaku F. | nein |

Tabelle 14-21: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem Spannungsreduzierung des ^EStudienteilnehmers FD in PubMed

| Initialien des ^E Studienteilnehmers: FD | | | | |
|---|----------------|----------------|---|------------|
| Alle Suchanfragen (! trennt zwei Suchanfragen voneinander) | | | | |
| lock AND flexible AND stress reopen connect AND form closure reopen AND stress Reclosable physical phenomena[MeSH Terms] AND animals[MeSH Terms] AND connect AND adaptable shell AND animals[MeSH Terms] AND mechanical phenomena[MeSH Terms] AND physical processes[MeSH Terms] Adaptable AND flexible AND open NOT data NOT cognitive NOT spectrometry NOT software "closing mechanism" AND animal NOT biomass NOT protein NOT scent NOT model NOT prostheses | | | | |
| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
| lock AND flexible AND stress | 8 | 8 | J Biol Chem. 2010 Jul 9;285(28):21487-95. doi: 10.1074/jbc.M109.092692. Epub 2010 May 5. Induced-fit mechanism for prolyl endopeptidase. Li M, Chen C, Davies DR, Chiu TK. | nein |
| | | | Catheter Cardiovasc Interv. 2009 Oct 1;74(4):569-74. doi: 10.1002/ccd.22034. Magnetic wire lock: prevention and correction to avoid wire fracture. van der Hilst K, Patterson MS. | nein |
| | | | Chem Commun (Camb). 2007 Jul 19;(27):2777-89. Epub 2007 Mar 20. Contortions of encapsulated alkyl groups. Rebek J Jr. | nein |
| | | | Int J Oral Maxillofac Surg. 2002 Feb;31(1):94-9. Adhesive force: the underlying cause of the disc anchorage to the fossa and/or eminence in the temporomandibular joint—a new concept. Nitzan DW, Etsion I. | ja |
| | | | J Prosthet Dent. 1998 Aug;80(2):220-3. Use of a cast flexible plate as a hinge substitute in a hinge-lock design removable partial denture framework. Williams RJ, Roberts B. | nein |
| reopen | 421 | 10 | Plant Cell. 2014 Jul;26(7):3167-84. doi: 10.1105/tpc.114.128272. Epub 2014 Jul 8. Closely related NAC transcription factors of tomato differentially regulate stomatal closure and reopening during pathogen attack. Du M, Zhai Q, Deng L, Li S, Li H, Yan L, Huang Z, Wang B, Jiang H, Huang T, Li CB, Wei J, Kang L, Li J, Li C. | nein |
| | | | J Cardiothorac Surg. 2014 Feb 28;9:41. doi: 10.1186/1749-8090-9-41. Meta-analysis of the effect of percutaneous coronary intervention on chronic total coronary occlusions. Li R, Yang S, Tang L, Yang Y, Chen H, Guan S, Han W, Liu H, Dai J, Gan Q, Fang W, Qu X. | nein |
| reopen AND stress | 13 | 13 | Comput Methods Biomech Biomed Engin. 2014;17(3):239-50. doi: 10.1080/10255842.2012.677442. Epub 2012 May 16. On high-cycle fatigue of 316L stents. Barrera O, Makradi A, Abbadi M, Azaouzi M, Belouettar S. | nein |
| | | | Ann Biomed Eng. 2009 Aug;37(8):1483-94. doi: 10.1007/s10439-009-9719-9. Epub 2009 May 27. Hemodynamically driven stent strut design. Jiménez JM, Davies PF. | nein |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|---|----------------|----------------|--|------------|
| reopen AND stress | 13 | 13 | Technol Health Care. 2006;14(4-5):233-41. Finite element analysis and stent design: Reduction of dogboning. De Beule M, Van Impe R, Verheghe B, Segers P, Verdonck P. | nein |
| | | | Physiol Plant. 2003 Apr;117(4):532-539. Hydraulic adjustment in jack pine and black spruce seedlings under controlled cycles of dehydration and rehydration. Blake TJ, Li J. | nein |
| stress, mechanical AND reopen | 3 | 3 | Comput Methods Biomech Biomed Engin. 2014;17(3):239-50. doi: 10.1080/10255842.2012.677442. Epub 2012 May 16. On high-cycle fatigue of 316L stents. Barrera O, Makradi A, Abbadi M, Azaoui M, Belouettar S. | nein |
| | | | Ann Biomed Eng. 2009 Aug;37(8):1483-94. doi: 10.1007/s10439-009-9719-9. Epub 2009 May 27. Hemodynamically driven stent strut design. Jiménez JM, Davies PF. | nein |
| | | | Technol Health Care. 2006;14(4-5):233-41. Finite element analysis and stent design: Reduction of dogboning. De Beule M, Van Impe R, Verheghe B, Segers P, Verdonck P. | nein |
| physical phenomena AND animals AND connect AND adaptable | 2 | 2 | J Orthop Res. 2011 Nov;29(11):1775-82. doi: 10.1002/jor.21419. Epub 2011 Apr 25. An artificial tendon to connect the quadriceps muscle to the tibia. Melvin A, Litsky A, Mayerson J, Stringer K, Melvin D, Juncosa-Melvin N. | ja |
| | | | Connect Tissue Res. 2008;49(3):165-8. doi: 10.1080/03008200802151672. Dynamic adaptation of tendon and muscle connective tissue to mechanical loading. Mackey AL, Heinemeier KM, Koskinen SO, Kjaer M. | ja |
| shell AND animals AND mechanical phenomena AND physical processes | 476 | 30 | Nat Commun. 2013;4:2634. doi: 10.1038/ncomms3634. Mechanical adaptability of the Bouligand-type structure in natural dermal armour. Zimmermann EA, Gludovatz B, Schaible E, Dave NK, Yang W, Meyers MA, Ritchie RO. | nein |
| | | | J Mech Behav Biomed Mater. 2013 Dec;28:354-65. doi: 10.1016/j.jmbm.2013.06.005. Epub 2013 Jun 21. Mechanically tissue-like elastomeric polymers and their potential as a vehicle to deliver functional cardiomyocytes. Xu B, Li Y, Fang X, Thouas GA, Cook WD, Newgreen DF, Chen Q. | ja |
| | | | J Mech Behav Biomed Mater. 2014 Jan;29:68-80. doi: 10.1016/j.jmbm.2013.08.014. Epub 2013 Aug 26. Stress relaxation behavior of tessellated cartilage from the jaws of blue sharks. Liu X, Dean MN, Youssefpour H, Summers AP, Earthman JC. | nein |
| | | | Acta Biomater. 2013 Nov;9(11):9065-74. doi: 10.1016/j.actbio.2013.07.004. Epub 2013 Jul 17. Separating the influence of the cortex and foam on the mechanical properties of porcupine quills. Yang W, McKittrick J. | nein |
| | | | Med Hypotheses. 2013 Sep;81(3):371-3. doi: 10.1016/j.mehy.2013.05.015. Epub 2013 Jun 17. Odontoblasts in odontogenic tumors. Milos NC, Peters E, Daley T. | nein |
| | | | Acta Biomater. 2013 Sep;9(9):8374-83. doi: 10.1016/j.actbio.2013.05.029. Epub 2013 Jun 5. Hollow hydroxyapatite microspheres: a novel bioactive and osteoconductive carrier for controlled release of bone morphogenetic protein-2 in bone regeneration. Xiao W, Fu H, Rahaman MN, Liu Y, Bal BS. | nein |
| | | | J Morphol. 2013 Aug;274(8):901-8. doi: 10.1002/jmor.20146. Epub 2013 Apr 30. Effects of asymmetry on the strength of the chelonian shell: a comparison of three species. Rivera G, Stayton CT. | nein |
| | | | Bioinspir Biomim. 2013 Mar;8(1):016010. doi: 10.1088/1748-3182/8/1/016010. Epub 2013 Feb 19. Shape-changing shell-like structures. Pagitz M, Bold J. | ja |
| | | | Environ Sci Pollut Res Int. 2013 Jul;20(7):4603-11. doi: 10.1007/s11356-012-1409-8. Epub 2012 Dec 30. Kinetic and equilibrium studies of adsorptive removal of phenol onto eggshell waste. Daraei H, Mittal A, Noorisepehr M, Daraei F. | nein |
| | | | J Exp Zool A Ecol Genet Physiol. 2013 Feb;319(2):86-98. doi: 10.1002/jez.1773. Epub 2012 Nov 30. Biomechanics of turtle shells: how whole shells fail in compression. Magwene PM, Socha JJ. | nein |
| | | | Acta Biomater. 2013 Feb;9(2):5289-96. doi: 10.1016/j.actbio.2012.11.005. Epub 2012 Nov 10. Mechanical properties and structure of the biological multilayered material system, Atractosteus spatula scales. Allison PG, Chandler MQ, Rodriguez RI, Williams BA, Moser RD, Weiss CA Jr, Poda AR, Lafferty BJ, Kennedy AJ, Seiter JM, Hodo WD, Cook RF. | nein |
| | | | J Mech Behav Biomed Mater. 2012 Dec;16:38-54. doi: 10.1016/j.jmbm.2012.08.006. Epub 2012 Aug 29. Experimental analysis and numerical modeling of mollusk shells as a three dimensional integrated volume. Faghhi Shojaei M, Mohammadi V, Rajabi H, Darvizeh A. | nein |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|---|----------------|----------------|---|------------|
| "closing mechanism" AND animal NOT biomass NOT protein NOT scent NOT model NOT prostheses | 20 | 10 | J Morphol. 2011 Dec;272(12):1435-43. doi: 10.1002/jmor.10995. Epub 2011 Jul 20. Comparison of cranial form and function in association with diet in natricine snakes. Hampton PM. | nein |
| | | | Morfologija. 2002;122(6):49-52. [Comparative-anatomical study of the formation of small and large intestinal (ileocecal) valve]. [Article in Russian] Valishin ES, Munirov MS. | nein |
| | | | J Comp Neurol. 1999 Jan 18;403(3):391-406. Trigeminal disynaptic circuit mediating corneal afferent input to M. depressor palpebrae inferioris motoneurons in the pigeon (Columba livia). Wild JM. | nein |
| | | | J S Afr Vet Assoc. 1988 Jun;59(2):67-72. The arrangement of the muscle layers at the equine ileo-caecal junction. Kotzé SH. | nein |

Tabelle 14-22: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem Haartrocknung des EStudienteilnehmers FK in PubMed

| Initialen des EStudienteilnehmers: FK | | | | |
|---|----------------|----------------|---|------------|
| Alle Suchanfragen (I trennt zwei Suchanfragen voneinander) | | | | |
| "absorbing water" "draw water" AND pressure "draw water" "draw water" AND hydrophilic absorb AND hydrophilic AND water absorb AND hydrophilic absorb AND hydroscopic AND water imbibition AND hydrophilic AND water imbibe AND hydrophilic AND water superhydrophilic sponge AND hydroscopic AND water imbibe AND hydroscopic AND water imbibition AND hydroscopic AND water successive water uptake capability for water uptake absorption AND hydroscopic AND water draw water AND hydroscopic water uptake AND hydroscopic absorb AND deliquescent AND water absorption AND deliquescent AND water imbibe AND deliquescent AND water imbibition AND deliquescent AND water sponge AND deliquescent AND water soak up AND deliquescent AND water soak up AND hydroscopic AND water drink in AND hydroscopic AND water drink in AND deliquescent AND water suck up AND deliquescent AND water suck up AND hydroscopic AND water sop water up AND deliquescent sop water up AND hydroscopic resorb AND hydroscopic AND water resorb AND deliquescent AND water vacuum water up AND hydroscopic vacuum water up AND deliquescent water uptake AND deliquescent root water uptake AND mechanism AND compounds root resorption AND water superabsorbent superabsorbent AND water water holding capacity absorb AND moisture AND hydroscopic absorb AND moisture high absorbency AND humidity high absorbency AND water "water potential" AND absorb "water potential" "high osmotic pressure" "osmotic potential" AND water "Hygroscopic Agents" "Mesh" "Drying agents" "Wettability" "Mesh" AND "Absorption" "Mesh" "Absorbent Pads" "Mesh" "Plant Roots" "Mesh" AND "water uptake" | | | | |
| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
| "absorbing water" | 55 | 40 | J Plant Physiol. 2013 Jan 1;170(1):70-3. doi: 10.1016/j.jplph.2012.08.013. Epub 2012 Sep 20. Responses of epidermal cell turgor pressure and photosynthetic activity of leaves of the atmospheric epiphyte Tillandsia usneoides (Bromeliaceae) after exposure to high humidity. Martin CE, Rux G, Herppich WB. | ja |
| | | | Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 2004 Oct;15(10):1939-42. [Research advances in bryophyte ecological function]. [Article in Chinese] Ye J, Hao Z, Yu D, Yan H, Feng D. | ja |
| | | | Sensors (Basel). 2012;12(8):10906-19. doi: 10.3390/s120810906. Epub 2012 Aug 7. Novel fiber optic sensor probe with a pair of highly reflected connectors and a vessel of water absorption material for water leak detection. Cho TS, Choi KS, Seo DC, Kwon IB, Lee JR. | nein |
| | | | Nat Commun. 2012;3:1187. doi: 10.1038/ncomms2187. An insect-induced novel plant phenotype for sustaining social life in a closed system. Kutsukake M, Meng XY, Katayama N, Nikoh N, Shibao H, Fukatsu T. | nein |
| high absorbency AND water | 20 | 20 | Biomacromolecules. 2001 Fall;2(3):824-6. Synthesis of acetylated konjac glucomannan and effect of degree of acetylation on water absorbency. Koroskenyi B, McCarthy SP. | ja |
| | | | Biomacromolecules. 2008 Sep;9(9):2536-45. doi: 10.1021/bm800594f. Epub 2008 Jul 31. Kinetic controlled synthesis of pH-responsive network alginate. Chan AW, Whitney RA, Neufeld RJ. | ja |
| Plant Roots[Mesh] AND "water uptake" | 133 | 40 | Physiol Plant. 2010 Feb;138(2):205-14. doi: 10.1111/j.1399-3054.2009.01306.x. Epub 2009 Oct 12. Metal ion effects on hydraulic conductivity of bacterial cellulose-pectin composites used as plant cell wall analogs. McKenna BA, Kopitke PM, Wehr JB, Blamey FP, Menzies NW. | nein |
| | | | J Plant Physiol. 2010 Sep 1;167(13):1076-83. doi: 10.1016/j.jplph.2010.02.009. Epub 2010 Apr 11. Global analysis of the root hair morphogenesis transcriptome reveals new candidate genes involved in root hair formation in barley. Kwasniewski M, Janiak A, Mueller-Roeber B, Szarejko I. | ja |
| | | | Trends Plant Sci. 2000 Feb;5(2):56-60. Through form to function: root hair development and nutrient uptake. Gilroy S, Jones DL. | ja |
| | | | Gen Physiol Biophys. 1996 Feb;15(1):11-26. The plant root as an osmo-diffusive converter of free energy. Kargol A, Kargol M. | ja |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|--------------------------------------|----------------|----------------|---|------------|
| Plant Roots[Mesh] AND "water uptake" | 133 | 40 | Acta Hort. 1996 Dec;440:199-204. Water uptake and growth of cucumber plants (<i>Cucumis sativus</i> L.) under control of dissolved O₂ concentration in hydroponics. Yoshida S, Kitano M, Eguchi H. | nein |
| | | | Plant J. 2008 Oct;56(2):207-18. doi: 10.1111/j.1365-313X.2008.03594.x. Epub 2008 Jul 28. Stimulus-induced downregulation of root water transport involves reactive oxygen species-activated cell signalling and plasma membrane intrinsic protein internalization. Boursiac Y, Boudet J, Postaire O, Luu DT, Tourmaire-Roux C, Maurel C. | ja |
| | | | Plant Cell. 2003 Feb;15(2):509-22. Role of a single aquaporin isoform in root water uptake. Javot H1, Lauvergeat V, Santoni V, Martin-Laurent F, Güçlü J, Vinh J, Heyes J, Franck KI, Schäffner AR, Bouchez D, Maurel C. | ja |
| "osmotic potential" AND water | 341 | 40 | Plant Physiol. 1970 Jul;46(1):145-9. Water potential components in growing citrus fruits. Kaufmann MR. | ja |
| | | | Plant Physiol. 1988;88:233-7. Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility. Neumann PM, Van Volkenburgh E, Cleland RE. | ja |
| | | | Plant Physiol. 1984 Jun;75(2):338-41. Influence of Osmotic Adjustment on Leaf Rolling and Tissue Death in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.). Hsiao TC, O'toole JC, Yambao EB, Turner NC. | ja |
| | | | Plant Physiol. 1975 Sep;56(3):394-8. Osmoregulation in Cotton Fiber: Accumulation of Potassium and Malate during Growth. Dhindsa RS, Beasley CA, Ting IP. | ja |
| "draw water" AND pressure | 4 | 4 | Surg Clin North Am. 1975 Jun;55(3):679-96. Dextran and the prevention of postoperative thromboembolic complications. Gruber UF. | ja |
| | | | Proc Soc Exp Biol Med. 1975 May;149(1):46-9. Elevated levels of colloid osmotic pressure in cecal contents of germfree animals. Gordon HA, Nakamura S. | ja |
| imbibition AND hydrophilic AND water | 22 | 22 | Plant Mol Biol. 1999 May;40(1):153-65. Structure, organization and expression of two closely related novel <i>Lea</i> (late-embryogenesis-abundant) genes in <i>Arabidopsis thaliana</i>. Raynal M, Guilleminot J, Gueguen C, Cooke R, Delseny M, Gruber V. | nein |
| | | | Contracept Deliv Syst. 1983 Jan;4(1):43-53. Controlled release of contraceptive steroids from biodegradable poly (ortho esters). Heller J, Penhale DW, Fritzingier BK, Rose JE, Helwing RF. | ja |
| | | | Plant Mol Biol. 1992 Jun;19(3):433-41. Cloning and expression of an embryo-specific mRNA up-regulated in hydrated dormant seeds. Goldmark PJ, Curry J, Morris CF, Walker-Simmons MK. | nein |
| successive water uptake | 79 | 40 | J Exp Biol. 1978 Dec;77:15-31. Reproduction versus somatic growth: hormonal control in <i>Octopus vulgaris</i>. O'Dor RK, Wells MJ. | ja |
| capability for water uptake | 195 | 40 | J Exp Bot. 2000 Sep;51(350):1531-42. Water uptake by roots: effects of water deficit. Stuedle E. | ja |
| water uptake AND hygroscopic | 57 | 40 | J Phys Chem B. 2010 Feb 25;114(7):2435-49. doi: 10.1021/jp909661q. Hygroscopic growth and deliquescence of NaCl nanoparticles mixed with surfactant SDS. Harmon CW, Grimm RL, McIntire TM, Peterson MD, Njagic B, Angel VM, Alshawa A, Underwood JS, Tobias DJ, Gerber RB, Gordon MS, Hemminger JC, Nizkorodov SA. | nein |
| "water potential" AND absorb | 9 | 9 | Plant Signal Behav. 2011 Jun;6(6):861-3. doi: 10.4161/psb.6.6.15223. Creating drought- and salt-tolerant cotton by overexpressing a vacuolar pyrophosphatase gene. Zhang H, Shen G, Kuppu S, Gaxiola R, Payton P. | nein |
| | | | Acta Physiol (Oxf). 2011 Jul;202(3):533-48. doi: 10.1111/j.1748-1716.2010.02200.x. Epub 2010 Nov 9. Chemosensory function of amphibian skin: integrating epithelial transport, capillary blood flow and behaviour. Hillyard SD, Willumsen NJ. | ja |
| "high osmotic pressure" | 150 | 40 | Proc Natl Acad Sci U S A. 2012 Dec 4;109(49):19938-42. doi: 10.1073/pnas.1211669109. Epub 2012 Nov 19. Controlling interactions in supported bilayers from weak electrostatic repulsion to high osmotic pressure. Hemmerle A, Malaquin L, Charitat T, Lecuyer S, Fragneto G, Daillant J. | ja |
| absorb AND hydrophilic AND water | 51 | 40 | ACS Nano. 2013 Mar 26;7(3):2172-85. doi: 10.1021/nn3057966. Epub 2013 Feb 4. Zwitter-wettability and antifogging coatings with frost-resisting capabilities. Lee H, Alcaraz ML, Rubner MF, Cohen RE. | ja |
| | | | ACS Appl Mater Interfaces. 2011 Jun;3(6):1813-6. doi: 10.1021/am200475b. Epub 2011 Jun 6. Hydrophobic nanocellulose aerogels as floating, sustainable, reusable, and recyclable oil absorbents. Korhonen JT, Kettunen M, Ras RH, Ikkala O. | nein |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|----------------------------------|----------------|----------------|---|------------|
| superhydrophilic | 198 | 40 | J Phys Chem B. 2013 Feb 14;117(6):1714-23. doi: 10.1021/jp306489g. Epub 2012 Oct 22. A hybrid method employing breakdown anodization and electrophoretic deposition for superhydrophilic surfaces. Joung YS, Buie CR. | ja |
| | | | Beilstein J Nanotechnol. 2011;2:760-73. doi: 10.3762/bjnano.2.84. Epub 2011 Nov 23. Approaches to nanostructure control and functionalizations of polymer@silica hybrid nanoglass generated by biomimetic silica mineralization on a self-assembled polyamine layer. Yuan JJ, Jin RH. | ja |
| superabsorbent AND water | 48 | 40 | Carbohydr Polym. 2013 Feb 15;92(2):2314-20. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.12.002. Epub 2012 Dec 12. Synthesis and swelling properties of β-cyclodextrin-based superabsorbent resin with network structure. Huang Z, Liu S, Fang G, Zhang B. <i>Publikation mehrmals gefunden</i> | ja |
| | | | Carbohydr Polym. 2013 Jan 2;91(1):277-83. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.08.041. Epub 2012 Aug 20. Synthesis and urea sustained-release behavior of an eco-friendly superabsorbent based on flax yarn wastes. Zhang Y, Wu F, Liu L, Yao J. | ja |
| | | | Biomacromolecules. 2012 Jun 11;13(6):1853-63. doi: 10.1021/bm300345e. Epub 2012 May 7. Electrospun zwitterionic poly(sulfobetaine methacrylate) for nonadherent, superabsorbent, and antimicrobial wound dressing applications. Lalani R, Liu L. <i>Publikation mehrmals gefunden</i> | ja |
| | | | J Biomed Mater Res A. 2011 Jul;98(1):31-9. doi: 10.1002/jbm.a.33045. Epub 2011 Apr 26. Superabsorbent polysaccharide hydrogels based on pullulan derivate as antibacterial release wound dressing. Li H, Yang J, Hu X, Liang J, Fan Y, Zhang X. <i>Publikation mehrmals gefunden</i> | ja |
| superabsorbent | 121 | 40 | Carbohydr Polym. 2013 Feb 15;92(2):2314-20. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.12.002. Epub 2012 Dec 12. Synthesis and swelling properties of β-cyclodextrin-based superabsorbent resin with network structure. Huang Z, Liu S, Fang G, Zhang B. <i>Publikation mehrmals gefunden</i> | ja |
| | | | Carbohydr Polym. 2013 Feb 15;92(2):1367-76. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.10.030. Epub 2012 Oct 17. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. Zhong K, Lin ZT, Zheng XL, Jiang GB, Fang YS, Mao XY, Liao ZW. | ja |
| | | | Bioresour Technol. 2012 Aug;118:204-9. doi: 10.1016/j.biortech.2012.03.028. Epub 2012 Mar 16. Synthesis, characterization and swelling behavior of superabsorbent wheat straw graft copolymers. Li Q, Ma Z, Yue Q, Gao B, Li W, Xu X. | ja |
| | | | Carbohydr Polym. 2013 Jan 16;91(2):693-8. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.08.056. Epub 2012 Sep 4. An innovative method for preparation of nanometal hydroxide superabsorbent hydrogel. Ahmed EM, Aggor FS, Awad AM, El-Aref AT. | ja |
| | | | Molecules. 2012 Aug 3;17(8):9397-412. doi: 10.3390/molecules17089397. Improvement in the water retention characteristics of sandy loam soil using a newly synthesized poly(acrylamide-co-acrylic acid)/AlZnFe₂O₄ superabsorbent hydrogel nanocomposite material. Shahid SA, Qidwai AA, Anwar F, Ullah I, Rashid U. | ja |
| | | | Biomacromolecules. 2012 Jun 11;13(6):1853-63. doi: 10.1021/bm300345e. Epub 2012 May 7. Electrospun zwitterionic poly(sulfobetaine methacrylate) for nonadherent, superabsorbent, and antimicrobial wound dressing applications. Lalani R, Liu L. <i>Publikation mehrmals gefunden</i> | ja |
| | | | J Biomed Mater Res A. 2011 Jul;98(1):31-9. doi: 10.1002/jbm.a.33045. Epub 2011 Apr 26. Superabsorbent polysaccharide hydrogels based on pullulan derivate as antibacterial release wound dressing. Li H, Yang J, Hu X, Liang J, Fan Y, Zhang X. <i>Publikation mehrmals gefunden</i> | ja |
| | | | Biomacromolecules. 2010 Jun 14;11(6):1684-91. doi: 10.1021/bm100379z. Chitosan-graft-polyaniline-based hydrogels: elaboration and properties. Marcasuzaa P, Reynaud S, Ehrenfeld F, Khoukh A, Desbrieres J. | ja |
| high absorbency AND humidity | 2 | 2 | Pediatr Crit Care Med. 2008 Jan;9(1):76-9. doi: 10.1097/01.PCC.0000298550.29453.7D. Cautionary tales from the neonatal intensive care unit: diapers may mislead urinary output estimation in extremely low birthweight infants. Amey M, Butchard N, Hanson L, Kinross D, Mannion M, Parsons J, Wright IM. | ja |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|--|----------------|----------------|--|------------|
| imbibe AND hydrophilic AND water | 6 | 6 | Biomacromolecules. 2008 Jan;9(1):84-90. Epub 2007 Dec 8. New intrinsically radiopaque hydrophilic microspheres for embolization: synthesis and characterization. van Hooy-Corsijens CS, Saralidze K, Knetsch ML, Emans PJ, de Haan MW, Magusin PC, Mezari B, Koole LH. | nein |
| | | | Annu Rev Biomed Eng. 2000;2:9-29. Physicochemical foundations and structural design of hydrogels in medicine and biology. Peppas NA, Huang Y, Torres-Lugo M, Ward JH, Zhang J. | ja |
| | | | Eur J Pharm Biopharm. 2000 Jul;50(1):27-46. Hydrogels in pharmaceutical formulations. Peppas NA, Bures P, Leobandung W, Ichikawa H. | ja |
| "hygroscopic agents" [Mesh] | 25 | 25 | Malar J. 2012 Sep 13;11:326. doi: 10.1186/1475-2875-11-326. Assessment of desiccants and their instructions for use in rapid diagnostic tests. Barbé B, Gillet P, Beelaert G, Fransen K, Jacobs J. | nein |
| | | | Sud Med Ekspert. 2012 Nov-Dec;55(6):42-5. [Determination of 2-methoxy-4-allylhydroxybenzene during chemico-toxicological studies of the biological materials]. [Article in Russian] Astashkina AP, Shormanov VK, Kirichek AV, Simonov EA, Sukhomilina EA, Grishcheko OI. | nein |
| "Wettability"[Mesh] AND "Absorption"[Mesh] | 99 | 40 | Environ Sci Technol. 2012 Jul 17;46(14):7725-30. doi: 10.1021/es3015524. Epub 2012 Jul 2. Oil spills abatement: factors affecting oil uptake by cellulose fibers. Payne KC, Jackson CD, Aizpurua CE, Rojas OJ, Hubbe MA. | ja |

Tabelle 14-23: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem Befestigung des ^EStudienteilnehmers JS in PubMed

| Initialien des ^E Studienteilnehmers: JS | | | | |
|--|----------------|----------------|---|------------|
| Alle Suchanfragen (1 trennt zwei Suchanfragen voneinander) | | | | |
| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
| attach OR link) AND (stable OR stiffness) clamp AND mechanical AND animal Structural AND Friction AND Releasable AND Attachment OR Closeable "fresh water" OR mud OR rocks OR temperature OR "compressive stress" OR "tensile stress" OR "shear stress" Insect AND close AND (tension OR force)"water resistance" mechanical AND flexible AND safety "antislip" OR "prevent slippage" (recyclable OR reusable) AND material (change OR deform OR create OR synthesize OR align) AND (collect OR absorb)"Gorb | | | | |
| (attach OR link) AND (stable OR stiffness) | 443 | 443 | Science. 2008 Mar 28;319(5871):1816-9. doi: 10.1126/science.1154117. The transition from stiff to compliant materials in squid beaks. Miserez A, Schneberk T, Sun C, Zok FW, Waite JH. | nein |
| | | | J Exp Biol. 2004 Aug;207(Pt 17):2947-63. Structure and properties of the glandular surface in the digestive zone of the pitcher in the carnivorous plant Nepenthes ventrata and its role in insect trapping and retention. Gorb E, Kastner V, Peressadko A, Arzt E, Gaume L, Rowe N, Gorb S. | ja |
| | | | J Exp Biol. 1999 Dec;202(Pt 23):3295-303. The mechanical design of spider silks: from fibroin sequence to mechanical function. Gosline JM, Guerette PA, Ortlev CS, Savage KN. | ja |
| structural AND friction AND releasable AND attachment OR closeable | 8 | 8 | J Theor Biol. 2007 Feb 21;244(4):565-75. Epub 2006 Sep 12. Curvature facilitates prey fixation in predatory insect claws. Petie R, Muller M. | ja |
| | | | Integr Comp Biol. 2002 Dec;42(6):1127-39. doi: 10.1093/icb/42.6.1127. Structural design and biomechanics of friction-based releasable attachment devices in insects. Gorb SN, Beutel RG, Gorb EV, Jiao Y, Kastner V, Niederegger S, Popov VL, Scherge M, Schwarz U, Vötsch W. | ja |
| "fresh water" OR mud OR rocks OR temperature OR "compressive stress" OR "shear stress" | 623448 | 500 | J Am Chem Soc. 2010 Jun 30;132(25):8566-8. doi: 10.1021/ja1026024. Assembly of fullerene-carbon nanotubes: temperature indicator for photothermal conversion. Shen Y, Skirtach AG, Seki T, Yagai S, Li H, Möhwald H, Nakamishi T. | ja |
| | | | J Exp Biol. 2010 Jun 15;213(Pt 12):2165-73. doi: 10.1242/jeb.040188. Feasting, fasting and freezing: energetic effects of meal size and temperature on torpor expression by little brown bats Myotis lucifugus. Matheson AL, Campbell KL, Willis CK. | nein |
| insect AND close AND (tension OR force) | 64 | 64 | PLoS One. 2012;7(4):e35056. doi: 10.1371/journal.pone.0035056. Epub 2012 Apr 20. Influence of cuticle nanostructuring on the wetting behaviour/states on cicada wings. Sun M, Liang A, Watson GS, Watson JA, Zheng Y, Ju J, Jiang L. | nein |
| | | | J Exp Biol. 2007 Mar;210(Pt 6):1092-108. The extensor tibiae muscle of the stick insect: biomechanical properties of an insect walking leg muscle. Guschlbauer C, Scharstein H, Büschges A. | nein |
| | | | Biol Cybern. 2004 Aug;91(2):76-90. Epub 2004 Aug 21. Dynamics and stability of insect locomotion: a hexapedal model for horizontal plane motions. Seipel JE, Holmes PJ, Full RJ. | ja |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|---|----------------|----------------|--|------------------------------|
| "water resistance" | 172 | 172 | J Photochem Photobiol B. 2013 Feb 5;119:31-6. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2012.12.001. Epub 2012 Dec 20. Preparation and characterization of a photocrosslinkable bioadhesive inspired by marine mussel. Xue J, Wang T, Nie J, Yang D. J Agric Food Chem. 2011 Jun 22;59(12):6689-95. doi: 10.1021/jf200477a. Epub 2011 Jun 2. Functional properties of bioplastics made from wheat gliadins modified with cinnamaldehyde. Balaguer MP, Gómez-Estaca J, Gavara R, Hernandez-Munoz P. Stain Technol. 1987 Sep;62(5):349-54. Some new methods for affixing sections to glass slides. III. Pressure-sensitive adhesives. Fink S. | nein ja nein |
| "anti-slip" OR "prevent slippage" | 47 | 47 | PLoS One. 2012;7(6):e38951. doi: 10.1371/journal.pone.0038951. Epub 2012 Jun 13. With a flick of the lid: a novel trapping mechanism in Nepenthes gracilis pitcher plants. Bauer U, Di Giusto B, Skepper J, Grafe TU, Federle W. | ja |
| (recyclable OR reusable) AND material | 320 | 320 | Chem Commun (Camb). 2011 Dec 7;47(45):12325-7. doi: 10.1039/c1cc14178c. Epub 2011 Oct 20. Magnetic nanoparticle supported polyoxometalates (POMs) via non-covalent interaction: reusable acid catalysts and catalyst supports for chiral amines. Zheng X, Zhang L, Li J, Luo S, Cheng JP. | nein |
| (change OR deform OR create OR synthesize OR align) AND (collect OR absorb) | 2144 | 107 | J Wound Care. 2010 Jan;19(1):10-4. A hydrocellular foam dressing versus gauze: effects on the healing of rat excisional wounds. Kunugiza Y, Tomita T, Moritomo H, Yoshikawa H. | ja |
| Gorb | 245 | 245 | PLoS One. 2013 May 1;8(5):e62682. doi: 10.1371/journal.pone.0062682. Print 2013. The great silk alternative: multiple co-evolution of web loss and sticky hairs in spiders. Wolff JO, Nentwig W, Gorb SN. Biol Lett. 2013 May 1;9(3):20130234. doi: 10.1098/rsbl.2013.0234. Print 2013 Jun 23. Stick tight: suction adhesion on irregular surfaces in the northern clingfish. Wainwright DK, Kleinteich T, Kleinteich A, Gorb SN, Summers AP. J Exp Biol. 2013 Aug 15;216(Pt 16):3008-14. doi: 10.1242/jeb.076190. Epub 2013 Apr 11. Attachment ability of a clamp-bearing fish parasite, Diplozoon paradoxum (Monogenea), on gills of the common bream, Abramis brama. Wong WL, Gorb SN. Philos Trans A Math Phys Eng Sci. 2008 May 13;366(1870):1557-74. doi: 10.1098/rsta.2007.2172. Biological attachment devices: exploring nature's diversity for biomimetics. Gorb SN. | nein nein nein nein |

Tabelle 14-24: Tabellarische Dokumentationen der Suche nach biologischen Lösungen für das technische Problem des ^EStudienteilnehmers PS in PubMed

| Initialen des ^E Studienteilnehmers: PS |
|--|
| Alle Suchanfragen (I trennt zwei Suchanfragen voneinander) |
| (((connect) OR roll up) OR fold) OR bundle) AND rope (((connect) OR roll up) OR fold) OR bundle) AND filament spool AND dna spool AND dna AND force spool AND chain spool AND rope spool AND string spool AND cord spool AND wire pull AND dna biophysic* AND spool biophysic* AND cylinder AND chain spool AND rotat* spindle AND bundle filament AND conjunction tractive force AND (string OR fiber OR chain OR link OR wire OR strand OR twine OR thread OR lace) filamentous AND mechani* sliding AND filament AND cylinder pull* AND retractable pull* AND friction filament AND pull AND spindle attached AND rotate AND filament (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) AND retractable ((wire) OR strand) AND retractable NOT medical (((fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND retractable (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) AND retractile (((wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) AND (OR lace) AND retractile (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR lace) OR thread) AND extensible (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR lace) OR thread) AND extensible ((strand) OR fiber) AND extensible (((twine) OR lace) AND extensible (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) OR wire) AND extensible ((link) OR wire) AND extensible ((strand) OR fiber) AND extensible (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR lace) OR thread) AND extensible (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR lace) OR thread) AND pile up ((connect*) AND extensible (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) AND attach (((wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND attach (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) AND adaptable (((wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND adaptable cable AND accumulate (((filament) OR polymer) OR fibril) AND decelerate (((rope) OR cord) OR string) OR chain) OR link) AND decelerate (((wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) OR fiber) OR cable) AND decelerate (((filament) OR fibril) OR polymer) AND roll up (((filament) OR fibril) OR polymer) AND curl (((filament) OR fibril) OR polymer) AND resistance AND slow down (((filament) OR fibril) OR polymer) AND tension AND regulate (ejection) AND sliding (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND sliding ((link) AND sliding (wire) AND sliding (strand) AND sliding (fiber) AND sliding (twine) AND sliding (thread) AND sliding (lace) AND sliding (adjust*) OR regulate) AND cable ((control) AND junction) AND force ((force transmitting) AND fiber (((store) OR fold) OR pack) OR bundle) AND shaft (((store) OR fold) OR pack) OR bundle) AND cylinder (((store) OR fold) OR pack) OR bundle) AND rod (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND twisting (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND wangling (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND spinning (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND rotatory (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND gyratory (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND revolving (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND twisting (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND wangling (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND wangling (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND revolving (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND power transmit* (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND power transmit* (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND force transmit* (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND power transmit* ((filament) AND rotary (filament) AND twisting (filament) AND wangling (filament) AND gyratory (filament) AND revolving (filament) AND spinning (fibril) AND rotary (((twisting) OR wangling) OR gyratory) OR revolving) OR spinning) AND fiber (((fiber) OR filament) OR fibril) AND deflect* ((polymer) OR microtubule) AND deflect* (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND interlink* (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND interlink* (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND interlaced (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND interlaced (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND intertwine* (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND intertwine* (((cable) OR rope) OR cord) AND pull (string) AND pull ((chain) AND pull (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND pull (((cable) OR rope) OR cord) AND drag ((string) OR chain) AND drag (((link) OR wire) OR strand) OR |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|--|----------------|----------------|---|------------|
| (((connect) OR roll up) OR fold) OR bundle) AND rope | 33 | 20 | J Cell Biol. 2003 Sep 15;162(6):1069-77. Long continuous actin bundles are constructed by overlapping short filaments. Guild GM, Connolly PS, Ruggiero L, Vranich KA, Tilney LG. | nein |
| (((connect) OR roll up) OR fold) OR bundle) AND filament | 4733 | 20 | Proc Natl Acad Sci U S A. 2012 Jul 3;109(27):10781-6. doi: 10.1073/pnas.1205606109. Epub 2012 Jun 18. Non-euclidean geometry of twisted filament bundle packing. Bruss IR, Grason GM. | nein |
| spool AND dna | 39 | 20 | J Biol Phys. 2013 Mar;39(2):201-13. doi: 10.1007/s10867-013-9315-y. Epub 2013 Apr 12. Polymorphism of DNA conformation inside the bacteriophage capsid. Leforestier A. | ja |
| | | | J Mol Biol. 1983 Dec 25;171(4):419-37. Tests of spool models for DNA packaging in phage lambda. Widom J, Baldwin RL. | nein |
| spool AND dna AND force | 5 | 5 | Biophys Chem. 2002 Dec 10;101-102:475-84. Investigation of viral DNA packaging using molecular mechanics models. Arsuaga J, Tan RK, Vazquez M, Summers DW, Harvey SC. | nein |
| spool AND chain | 8 | 8 | J Chem Phys. 2004 Nov 1;121(17):8635-41. Dynamics of polymer packaging. Ali I, Marenduzzo D, Yeomans JM. | nein |
| pull AND dna | 1696 | 20 | Curr Opin Genet Dev. 2014 Apr;25:74-84. doi: 10.1016/j.gde.2014.01.001. Epub 2014 Feb 25. Pack, unpack, bend, twist, pull, push: the physical side of gene expression. Lavelle C. | nein |
| spool AND rotat* | 10 | 10 | Structure. 2014 May 6;22(5):685-96. doi: 10.1016/j.str.2014.03.001. Epub 2014 Mar 27. Distinct docking and stabilization steps of the Pseudopilus conformational transition path suggest rotational assembly of type IV pilus-like fibers. Nivaskumar M, Bouvier G, Campos M, Nadeau N, Yu X, Egelman EH, Nilges M, Francetic O. | nein |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|---|----------------|----------------|--|------------|
| spindle AND bundle | 187 | 20 | Nat Rev Mol Cell Biol. 2009 Jan;10(1):9-20. doi: 10.1038/nrm2609. The 3Ms of central spindle assembly: microtubules, motors and MAPs. Glotzer M. | ja |
| sliding AND filament AND cylinder | 4 | 4 | Bioinspir Biomim. 2013 Jun;8(2):026006. doi: 10.1088/1748-3182/8/2/026006. Epub 2013 Apr 12. Bending, twisting and beating trunk robot bioinspired from the '3 + 0' axoneme. Cibert C. | nein |
| (((chain) OR cable) OR rope) OR cord) OR string) OR link) AND retractable | 13 | 13 | Chemistry. 2012 Dec 21;18(52):16698-707. doi: 10.1002/chem.201202820. Epub 2012 Nov 13. A two-stage molecular retractable cable featuring push-button and rotary two-way switching modes. Chuang CJ, Lai CC, Liu YH, Peng SM, Chiu SH. | nein |
| (((cable) OR rope) OR cord) OR string) AND extensible | 22 | 20 | Nanoscale. 2014 Aug 21;6(16):9436-42. doi: 10.1039/c4nr00296b. Mechanically tough, elastic and stable rope-like double nanohelices. Dai L, Huang XJ, Dong LX, Zhang Q, Zhang L. | nein |
| (connect*) AND extensible | 161 | 20 | J Exp Biol. 2014 Jul 15;217(Pt 14):2445-8. doi: 10.1242/jeb.097634. Epub 2014 May 6. Highly extensible skeletal muscle in snakes. Close M, Perri S, Franzini-Armstrong C, Cundall D. | nein |
| (((filament) OR fibril) OR polymer) AND tension AND regulate | 168 | 20 | Eur J Cell Biol. 2013 Oct-Nov;92(10-11):333-8. doi: 10.1016/j.ejcb.2013.10.011. Epub 2013 Nov 4. Mechanotransduction down to individual actin filaments. Romet-Lemonne G, Jégou A. | nein |
| (ejection) AND sliding | 24 | 20 | Nat Struct Mol Biol. 2007 Nov;14(11):989-96. Chromatin remodeling: insights and intrigue from single-molecule studies. Cairns BR. | ja |
| (((cable) OR rope) OR cord) OR string) OR chain) AND rotary | 346 | 20 | Microb Cell. 2014 Feb 1;1(2):64-66. Building a flagellum in biological outer space. Evans LD, Hughes C, Fraser GM. | nein |
| (((link) OR wire) OR strand) OR fiber) OR twine) OR thread) OR lace) AND rotary | 262 | 20 | Recent Pat Food Nutr Agric. 2012 Dec;4(3):210-9. Patents on fiber spinning from starches. Kong L, Ziegler GR. | nein |
| (((cable) OR rope) OR cord) AND pull | 185 | 20 | Curr Biol. 2011 Jun 7;21(11):R427-30. doi: 10.1016/j.cub.2011.04.046. Force generation: ATP-powered proteasomes pull the rope. Dufrene YF, Müller DJ. | nein |
| ((string) OR chain) AND drag | 111 | 20 | J Chem Phys. 2011 May 21;134(19):194905. doi: 10.1063/1.3590276. Primitive chain network simulations for asymmetric star polymers. Masubuchi Y, Yaoita T, Matsumiya Y, Watanabe H. | ja |
| (((pull) OR drag) OR stretch) OR jerk) OR rip) AND filament | 1645 | 20 | PLoS One. 2013 Jun 6;8(6):e65864. doi: 10.1371/journal.pone.0065864. Print 2013. A mechanochemical model of cell reorientation on substrates under cyclic stretch. Qian J, Liu H, Lin Y, Chen W, Gao H. | nein |
| (((cable) OR rope) OR chain) AND attach*) AND cylinder | 17 | 17 | Biomacromolecules. 2012 Jun 11;13(6):1945-55. doi: 10.1021/bm300561y. Epub 2012 May 18. Solution structural characterization of coiled-coil peptide-polymer side-conjugates. Shu JY, Lund R, Xu T. | nein |
| (((cable) OR rope) OR chain) AND attach*) AND rod | 96 | 20 | Biophys J. 2012 Sep 5;103(5):989-98. Dynamics of forced nucleosome unraveling and role of non-uniform histone-DNA interactions. Dobrovolskaia IV, Arya G. | nein |
| (((cable) OR rope) OR chain) AND attach*) AND rod | 96 | 20 | Brain Res Bull. 1987 Oct;19(4):411-20. Attachments of human intrafusal fibers. Sahgal V, Subramani V, Sahgal S. | nein |
| (((filament) OR fibril) OR polymer) OR tubule) AND attach*) AND rod | 244 | 20 | Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys. 2011 Nov;84(5 Pt 1):051910. Epub 2011 Nov 16. Looped star polymers show conformational transition from spherical to flat toroidal shapes. Reiss P, Fritsche M, Heermann DW. | nein |
| (((cable) OR rope) OR chain) AND connect*) AND cylinder | 20 | 20 | Phys Rev Lett. 2012 Jun 29;108(26):268305. Epub 2012 Jun 27. Spontaneous helicity of a polymer with side loops confined to a cylinder. Chaudhuri D, Mulder BM. | nein |
| (((cable) OR rope) OR chain) AND connect*) AND cylinder | 20 | 20 | J Chem Phys. 2010 Jul 14;133(2):024902. doi: 10.1063/1.3458821. Polymer translocation through pores with complex geometries. Mohan A, Kolomeisky AB, Pasquali M. | nein |
| (((cable) OR rope) OR link) OR strand) OR fiber) OR thread) AND attach | 389 | 20 | Curr Biol. 2014 Mar 31;24(7):705-16. doi: 10.1016/j.cub.2014.02.032. Epub 2014 Mar 13. Tension and force-resistant attachment are essential for myofibrillogenesis in Drosophila flight muscle. Weitkunat M, Kaya-Çopur A, Grill SW, Schnorrer F. | ja |
| (((cable) OR rope) OR chain) OR link) OR wire) AND mechanism) AND shaft | 29 | 20 | PLoS Biol. 2012;10(12):e1001439. doi: 10.1371/journal.pbio.1001439. Epub 2012 Dec 4. Growth cone MKK7 mRNA targeting regulates MAP1b-dependent microtubule bundling to control neurite elongation. Feltrin D, Fusco L, Witte H, Moretti F, Martin K, Letzelter M, Fluri E, Scheiffele P, Pertz O. | nein |

| Suchanfrage mind. 1 P untersucht | P resultierend | P durchgesehen | Publikationsort, Titel, Autor(en) von P untersucht | P nützlich |
|--|----------------|----------------|--|------------|
| (((rope) OR chain) OR link) OR strand) OR fiber) OR thread) AND entangled | 409 | 20 | J Chem Phys. 2012 Oct 21;137(15):154902. doi: 10.1063/1.4758320. Multi-chain slip-spring model for entangled polymer dynamics. Uneyama T, Masubuchi Y. | nein |
| (((rope) OR chain) OR link) OR strand) OR fiber) OR thread) AND wind* around | 158 | 20 | Nucleic Acids Res. 2012 Oct;40(19):e151. doi: 10.1093/nar/gks651. Epub 2012 Jul 5. Winding single-molecule double-stranded DNA on a nanometer-sized reel. You H, Iino R, Watanabe R, Noji H. | nein |
| (((rope) OR chain) OR link) OR strand) OR fiber) OR thread) AND reel | 8 | 8 | J Org Chem. 2010 Feb 19;75(4):1040-6. doi: 10.1021/jo902393n. A molecular reel: shuttling of a rotor by tumbling of a macrocycle. Yamauchi K, Miyawaki A, Takashima Y, Yamaguchi H, Harada A. | nein |

14.4 Nützliche Suchanfragen der EStudienteilnehmer

Tabelle 14-25 zeigt die nützlichen Suchanfragen der EStudienteilnehmer, d. h. die Suchanfragen, die zu nützlichen biologischen Publikationen führten. Die Tabelle veranschaulicht das Vorkommen der Booleschen Operatoren *AND* und *OR* sowie von Anführungszeichen in diesen Suchanfragen.

Tabelle 14-25: Nützliche Suchanfragen der EStudienteilnehmer inklusive Verwendung der Booleschen Operatoren *AND* und *OR* sowie von Suchworten in Anführungszeichen (SW)

| Suchanfrage | AND | OR | SW |
|---|------|------|------|
| ((purifying) OR purify) AND ((sewage) OR wastewater) | ja | ja | nein |
| move AND water AND protective | ja | nein | nein |
| walk AND water | ja | nein | nein |
| adhere AND humidity | ja | nein | nein |
| glue AND movement AND surface | ja | nein | nein |
| (((((maintain[Title]) AND temperature[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title])) | ja | nein | nein |
| (((((change[Title]) AND conductivity[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title])) | ja | nein | nein |
| (((((regulation[Title]) AND heat[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title]) AND (((room[Title/Abstract]) AND temperature[Title/Abstract]) OR ((high[Title/Abstract]) AND temperature[Title/Abstract]))) | ja | ja | |
| (((((conservation[Title]) AND heat[Title]) NOT shock[Title]) NOT proteins[Title])) | ja | nein | nein |
| blunting AND self-sharpening | ja | nein | nein |
| self-sharpening | | nein | nein |
| "self-sharpening" | nein | nein | ja |
| self AND sharpening | ja | nein | nein |
| sharpening AND teeth | ja | nein | nein |
| sea urchin teeth sharp NOT surgery NOT hospital NOT mental NOT injury | nein | nein | nein |
| Mechanism sea urchin teeth NOT surgery NOT hospital NOT mental NOT injury | nein | nein | nein |
| enamel sharp teeth beaver NOT surgery NOT hospital NOT mental NOT injury | nein | nein | nein |
| organic AND (hard OR tough OR rigid) AND sharp | ja | ja | nein |
| preserve AND cohesion AND (tension OR stress) | ja | ja | nein |
| pressure[mh:noexp] AND close AND tension | ja | nein | nein |
| containment AND pressure AND cohesion | ja | nein | nein |
| (maintain OR uphold OR keep up OR preserve OR guarantee OR assure OR ensure) AND (cohesion OR coherence OR cohesiveness OR bond) AND (tension OR stress) | ja | ja | nein |
| change AND (configuration OR shape) AND (stress OR tension) AND flexible | ja | ja | nein |
| strap AND pressure | ja | nein | nein |
| load AND latch | ja | nein | nein |
| "external banding" | nein | nein | ja |
| latching AND force | ja | nein | nein |
| increase AND strength AND animal | ja | nein | nein |
| lock AND flexible AND stress | ja | nein | nein |
| physical phenomena AND animals AND connect AND adaptable | ja | nein | nein |
| shell AND animals AND mechanical phenomena AND physical processes | ja | nein | nein |
| "absorbing water" | | nein | ja |
| high absorbency AND water | ja | nein | nein |
| "osmotic potential" AND water | ja | nein | ja |
| "draw water" AND pressure | ja | nein | ja |

| Suchanfrage | AND | OR | SW |
|--|------|------|------|
| imbibition AND hydrophilic AND water | ja | nein | nein |
| successive water uptake | | nein | nein |
| capability for water uptake | | nein | nein |
| "water potential" AND absorb | ja | nein | ja |
| "high osmotic pressure" | | nein | ja |
| absorb AND hydrophilic AND water | ja | nein | nein |
| superhydrophilic | | nein | nein |
| superabsorbent AND water | ja | nein | nein |
| superabsorbent | | nein | nein |
| high absorbency AND humidity | ja | nein | nein |
| imbibe AND hydrophilic AND water | ja | nein | nein |
| "Wettability"[Mesh] AND "Absorption"[Mesh] | ja | nein | ja |
| (attach OR link) AND (stable OR stiffness) | ja | ja | nein |
| structural AND friction AND releasable AND attachment OR closeable | ja | ja | nein |
| "fresh water" OR mud OR rocks OR temperature OR "compressive stress" OR "shear stress" | nein | ja | ja |
| insect AND close AND (tension OR force) | ja | ja | nein |
| "water resistance" | nein | nein | ja |
| "anti-slip" OR "prevent slippage" | nein | ja | ja |
| (change OR deform OR create OR synthesize OR align) AND (collect OR absorb) | ja | ja | nein |
| spool AND dann | ja | nein | nein |
| spindle AND bundle | ja | nein | nein |
| (ejection) AND sliding | ja | nein | nein |
| ((string) OR chain) AND drag | ja | ja | nein |
| (((((cable) OR rope) OR link) OR strand) OR fiber) OR thread) AND attach | ja | ja | nein |

14.5 Bionische Lösungsideen der EStudienteilnehmer

Dieses Kapitel beschreibt die bionischen Lösungsideen für die bearbeiteten technischen Probleme der EStudienteilnehmer inklusive der Inspiration aus *PubMed*.

Die Beschreibung der bionischen Lösungsideen erfolgte gemäß der Beschreibung der EStudienteilnehmer⁴⁸. Dem Autor dieser Arbeit ist bewusst, dass die Ideen in dieser Form nicht zwangsläufig realisierbar sind oder das technische Problem vollständig lösen. Im Sinne eines kreativen Ergebnisses ist dies auch nicht zwingend notwendig (Kapitel 3.1.2).

Einige der bionischen Lösungsideen wurden bereits in Helms et al. (im Druck (geplant 2016)) beschrieben.

14.5.1 Problem Wasseraufbereitung

Das technische Problem der Wasseraufbereitung wurde bearbeitet von dem EStudienteilnehmer JF. Ziel war die Entwicklung eines handlichen, d. h. einfach zu benutzenden und transportablen, Instruments zur Trinkwasserherstellung aus verunreinigtem Wasser.

Feuchtbiotop bieten eine mögliche biologische Lösung (Liao und Luo 2002; Wu et al. 2002; Yan et al. 2006; Chen 2005; Yang et al. 2006; Yuan et al. 2005). In Feuchtbiotopen bewirkt u. a. Ionenaustausch, d. h. ein Austausch von verschiedenen Ionen gleicher Ladung, ein Herausfiltern von Schadstoffen aus dem Wasser (Faulkner und Richardson 1989, S. 43). Dieser Ionenaustausch kann für die Trinkwasserherstellung genutzt werden.

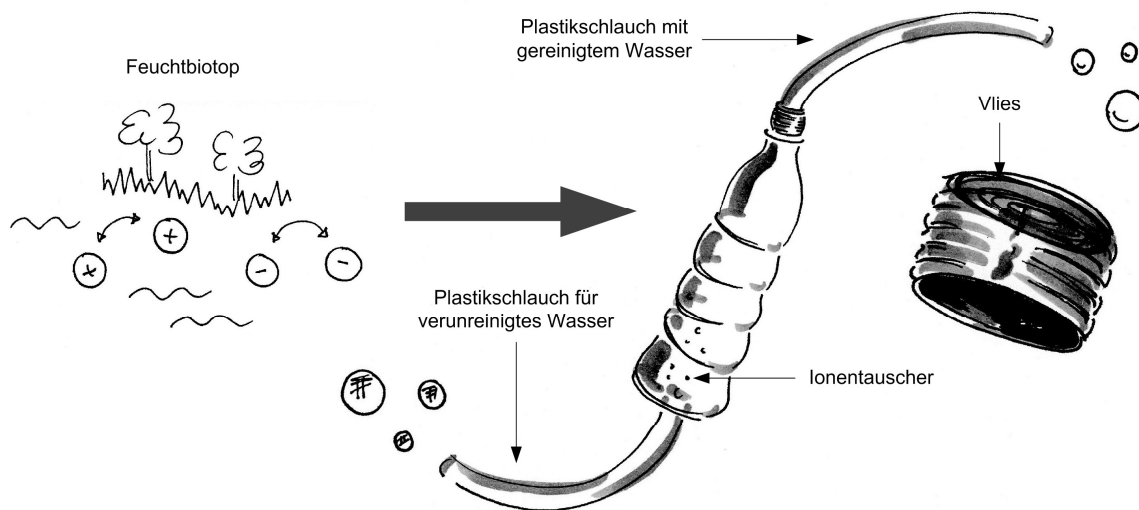


Abbildung 14-1: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee zum Problem Wasseraufbereitung

⁴⁸ Die Beschreibungen der EStudienteilnehmer sind deren Studienarbeiten zu entnehmen; auf diese wird im Folgenden an entsprechender Stelle verwiesen.

Die bionische Lösungsidee (Abbildung 14-1) zur Nutzung des Ionenaustausches ist: Im Handel erhältliche Ionentauscher (z. B. Granulat) werden in eine PET-Flasche gegeben. Von Flaschenboden und -deckel gehen Plastikschräume ab. Der vom Boden abgehende Schlauch nimmt verunreinigtes Wasser auf. Aus dem vom Flaschendeckel abgehenden Schlauch kann das durch den Ionentauscher gereinigte Wasser entnommen werden. Ein Vlies im Flaschendeckel schützt das gereinigte Wasser vor einer Verunreinigung durch den Ionentauscher (Produktentwicklung 2013e, S. 46–48).

14.5.2 Problem Aquaplaning

Das technische Problem des Aquaplanings wurde bearbeitet von der ^EStudienteilnehmerin AH. Ziel war es, einen Autoreifen zu entwickeln, welcher Aquaplaning reduziert.

Oberflächenhaftung ist in verschiedenen biologischen Systemen über den Kapillareffekt realisiert. Spinnen nutzen ihn in ihren Fangfäden, um erhöhte Klebrigkeit bei Feuchtigkeit zu erzielen (Hawthorn und Opell 2003). Haare auf dem Haus der Schnecke *Isognomostoma isognomostomos* bewirken über den Kapillareffekt eine gesteigerte Haftung auf feuchten Pflanzen (Tyrakowski et al. 2012). Obwohl der Kapillareffekt Haftung unter Wasser nicht prinzipiell unterstützt, ist der Grüne Sauerampferkäfer *Gastrophysa viridula* in der Lage über Kapillarkräfte auf Substrat unter Wasser zu gehen. Auch im Trockenen und bei Feuchtigkeit nutzt er den Kapillareffekt zur Haftung. Dieser entsteht in erstem Fall zwischen flüssigkeitsbenetzten Borsten (Setae) an den Käferbeinen und Substrat und in zweitem Fall durch Lufteinschlüsse zwischen den Borsten (Hosoda N. und Gorb 2012).

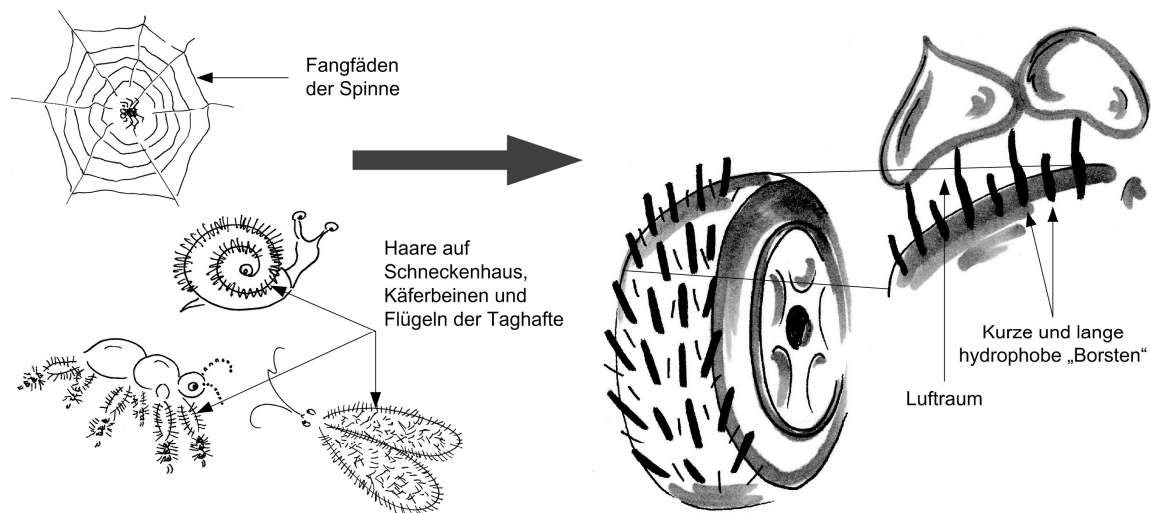


Abbildung 14-2: Biologische Inspirationen und bionische Lösungsidee zum Problem Aquaplaning

Die aus der biologischen Nutzung des Kapillareffekts resultierende bionische Lösungsidee (Abbildung 14-2) ist, die Lauffläche des Autoreifens mit hydrophoben „Borsten“ zu bestücken. Der so auf nasser Straße entstehende Luftraum zwischen Reifen und Straße ermöglicht eine Haftung

über Kapillarkräfte. Die wasserabweisende Flügelbehaarung der Taghafte – ein Arrangement aus kürzeren und längeren Härchen (Watson et al. 2011) – inspirierte die Anordnung der „Borsten“ (Produktentwicklung 2013d, S. 43–44).

14.5.3 Problem Wärmeleitung

Das technische Problem der Wärmeleitung wurde bearbeitet von dem ^EStudienteilnehmer DM. Ziel war die Entwicklung eines Kochtopfs, der seine Wärmeleitfähigkeit während des Kochvorgangs erhöht und diese nach Beendigung des Kochvorgangs erniedrigt, um das Gekochte warmzuhalten.

Dickschnabellummen (*Uria lomvia*) erhöhen während des Tauchvorgangs ihre Körperkerntemperatur bei Erniedrigung der Temperatur der Körperperipherie. Dies geschieht u. a. durch eine Verengung der peripheren Blutgefäße. Es resultiert eine Änderung der Blutflussrate und der Oberfläche, die das Blut passieren kann (Niizuma et al. 2007).

Die bionische Lösungsidee (Abbildung 14-3) hierzu ist eine zweiteilige Wärmeleitungsfläche. Zur Erhöhung der Wärmeleitung zirkuliert eine Flüssigkeit von einem Teil zum anderen, zur Erniedrigung der Wärmeleitung wird mittels einer Spritze Luft in den unteren Teil der Wärmeleitungsfläche gepumpt, welche die Flüssigkeit aus dem unteren in den oberen Teil drückt und die Zirkulation stoppt. Die Flächen werden zusätzlich separiert (Produktentwicklung 2013c, S. 25).

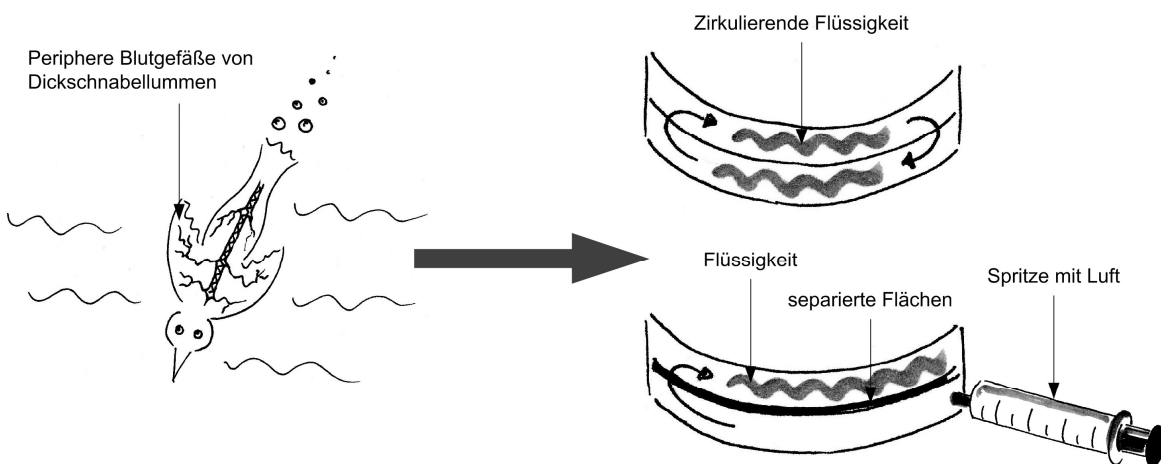


Abbildung 14-3: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 1 zum Problem Wärmeleitung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013c)

Eine Variation dieser bionischen Lösungsidee (Abbildung 14-4) ist, die Zweiteilung der Wärmeleitungsfläche auf die Seitenwände des zu entwickelnden Kochtopfs auszuweiten. Zur Erniedrigung der Wärmeleitung wird die Flüssigkeit auf die Seitenwände verteilt (Produktentwicklung 2013c, S. 29).

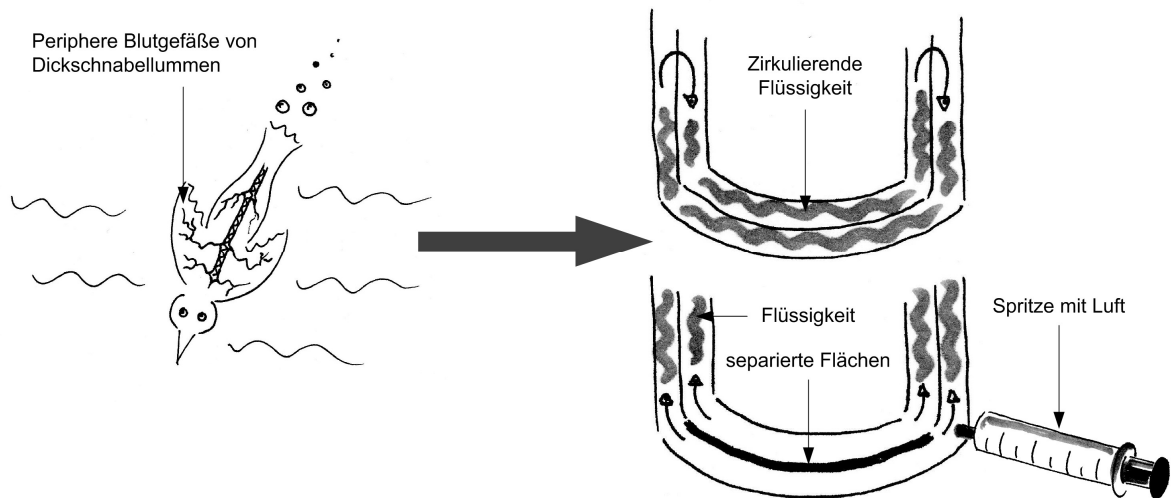


Abbildung 14-4: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 1– variiert zum Problem Wärmeleitung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013c)

Stare (*Sturnus vulgaris*) halten während des Flugs eine hohe Körperkern- und Hauttemperatur aufrecht. Bei niedriger Außentemperatur wird die Hauttemperatur erhöht. Dies resultiert wahrscheinlich aus einem herabgesetzten Wärmefluss in den Brustfedern (Torre-Bueno 1976).

Eine bionische Lösungsidee (Abbildung 14-5) hierzu ist eine zweiteilige Wärmeleitungsfläche aus Metall. Zur Erhöhung der Wärmeleitung stehen die Teile in Kontakt, zur Erniedrigung der Wärmeleitung werden die Teile separiert. Zwischen diese wird Flüssigkeit und Luft gedrückt, es entstehen kleine Blasen (Produktentwicklung 2013c, S. 26).

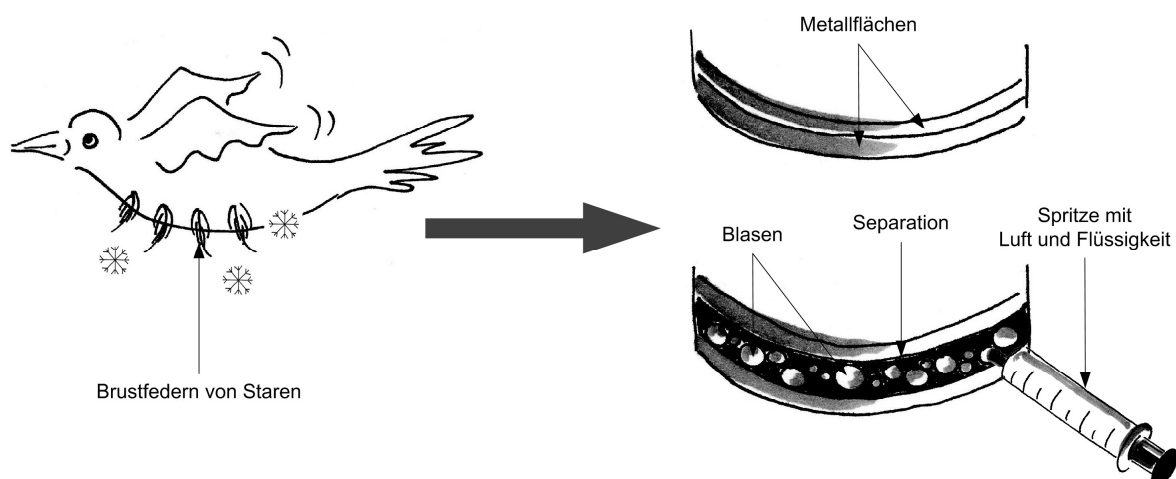


Abbildung 14-5: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 2 zum Problem Wärmeleitung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013c)

Die zweite bionische Lösungsidee (Abbildung 14-6) zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur in Staren gleicht der ersten, mit der Ausnahme, dass anstelle der Flüssigkeit ein (während erhöhter Wärmeleitung komprimiertes) schwammähnliches Material über Lufteinschlüsse für eine Erniedrigung der Wärmeleitung sorgt (Produktentwicklung 2013c, S. 27).

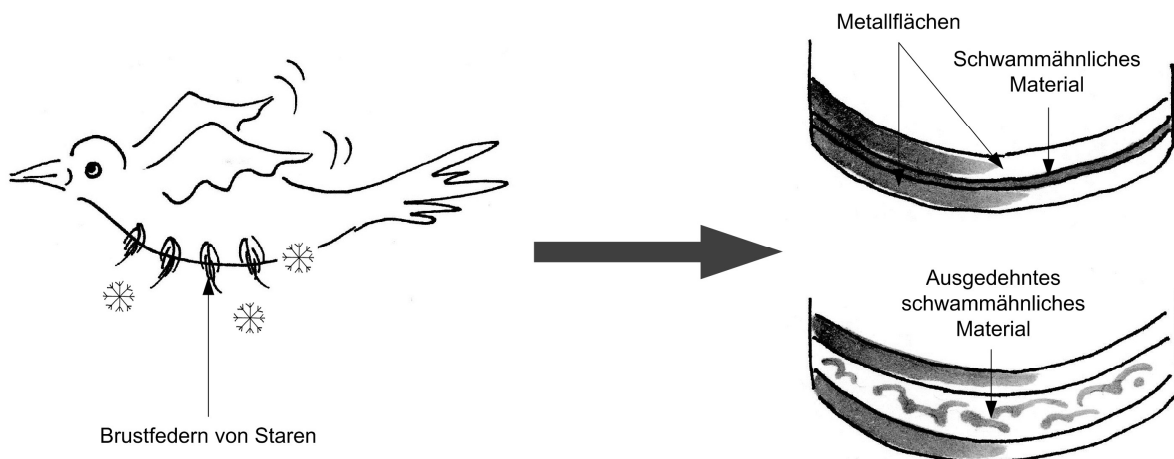


Abbildung 14-6: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 2-variirt zum Problem Wärmeleitung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013c)

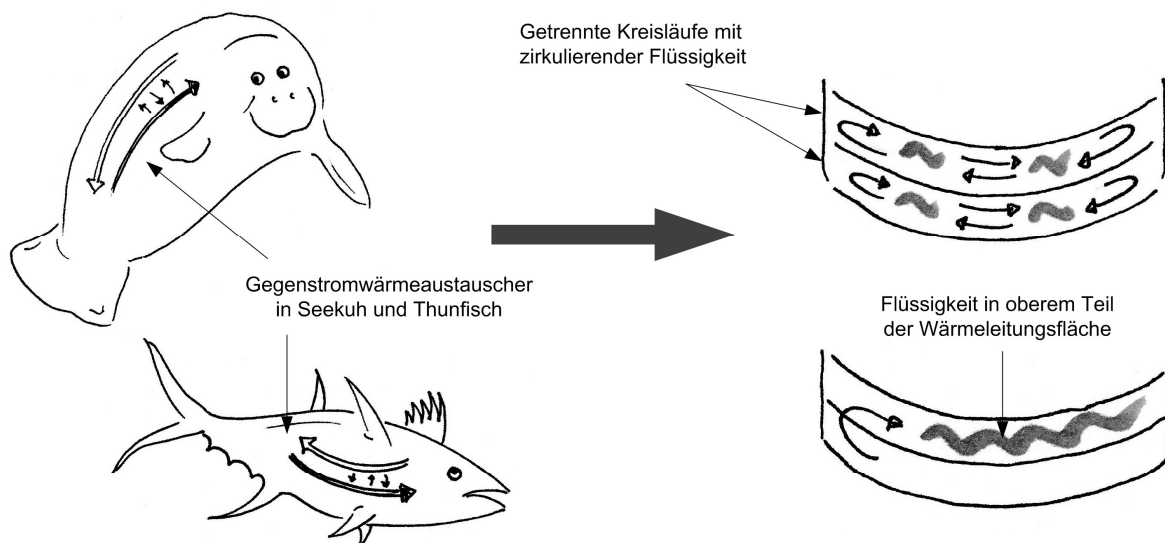


Abbildung 14-7: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee drei zum Problem Wärmeleitung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013c)

Sowohl die Seekuh *Trichechus manatus latirostris* als auch der Thunfisch speichert Wärme über einen Wärmeaustausch zwischen Blutgefäßen (Gegenstromwärmeaustauscher). Eine parallele Anordnung von Arterien und Venen verringert über einen Wärmefluss von warmem

arteriellem Blut in kaltes venöses Blut ein Austreten von Wärme aus dem Körper (Rommel und Caplan 2003; Carey und Teal 1966).

Die bionische Lösungsidee (Abbildung 14-7) hierzu ist eine zweiteilige Wärmeleitungsfläche zwischen deren Teilen zur Erhöhung der Wärmeleitung in zwei getrennten Kreisläufen Flüssigkeit gegenläufig zirkuliert. Zur Erniedrigung der Wärmeleitung wird die Flüssigkeit vom unteren in den oberen Teil verlagert (Produktentwicklung 2013c, S. 25).

Spinnseide der Goldenen Seidenspinne (*Nephila clavipes*), die für das Netzgrundgerüst und als Sicherungsfaden genutzt wird, hat eine außergewöhnlich hohe Wärmeleitfähigkeit. Diese steigt mit zunehmender Belastung durch ein Brechen von Wasserstoffbindungen und eine verbesserte Anordnung von kristallinen Platten in den Spinnseidefasern (Huang et al. 2012).

Die erste bionische Lösungsidee (Abbildung 14-8) hierzu ist, beide Teile einer zweiteiligen Wärmeleitungsfläche teilweise aus Metall (hohe Wärmeleitfähigkeit), teilweise aus Silikon (geringe Wärmeleitfähigkeit) zu gestalten. Sind die metallenen Teile deckungsgleich wird die Wärmeleitfähigkeit erhöht, sind sie es nicht, wird diese erniedrigt (Produktentwicklung 2013c, S. 26).

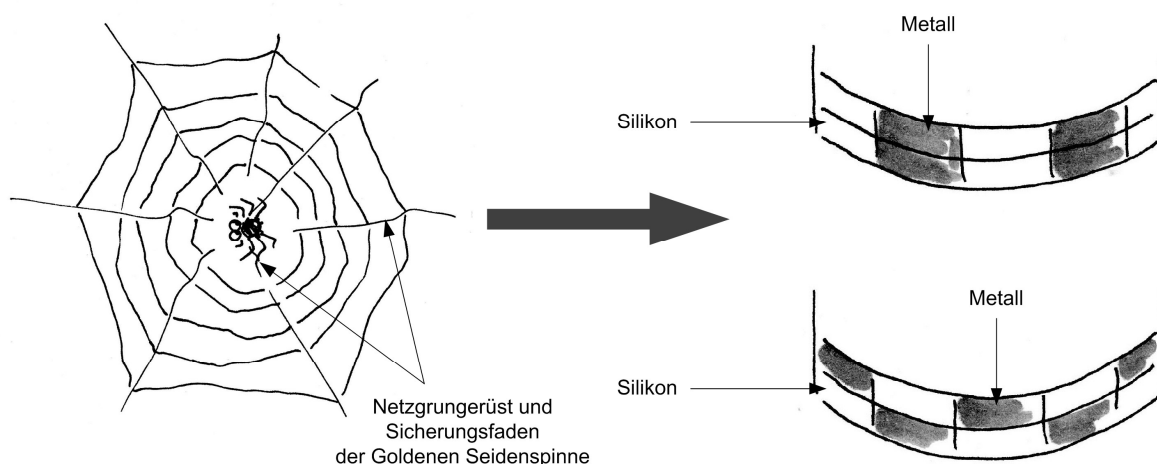


Abbildung 14-8: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 4 zum Problem Wärmeleitung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013c)

Die zweite bionische Lösungsidee (Abbildung 14-9) gleicht der ersten, mit der Ausnahme, dass statt des Silikons ein schwammähnliches Material für eine Erniedrigung der Wärmeleitfähigkeit sorgt. Die Wärmeleitfähigkeit wird zusätzlich durch die Ausdehnung des schwammähnlichen Materials gesenkt (Produktentwicklung 2013c, S. 27).

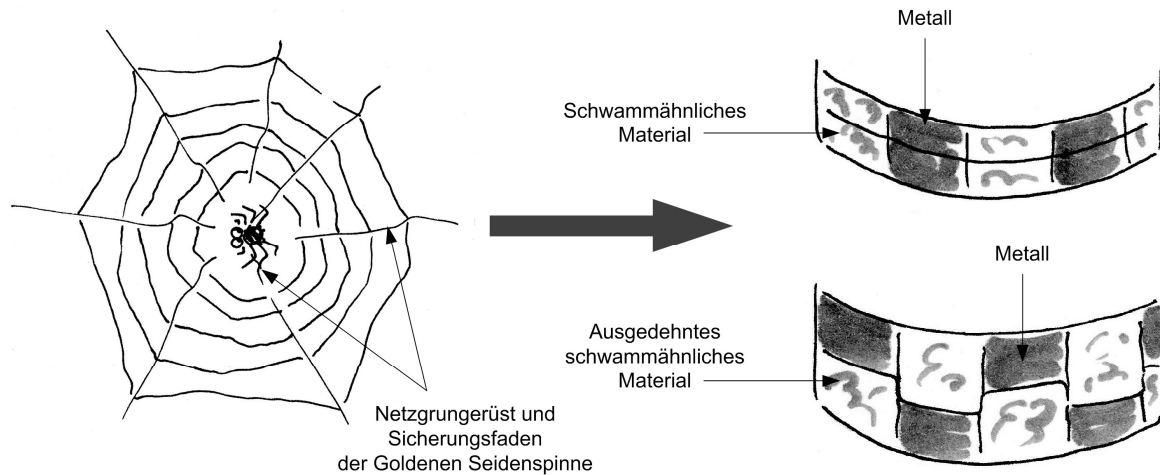


Abbildung 14-9: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 4-variiert zum Problem Wärmeleitung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013c)

14.5.4 Problem Selbstschärfung

Das technische Problem der Selbstschärfung wurde bearbeitet von den EStudienteilnehmern MW und – im Team – AM und TR. Ziel war es, ein Messer zu entwickeln, welches über seine Lebensdauer ohne Schärfung scharf bleibt.

Seeigelzähne bleiben trotz kontinuierlicher Abnutzung scharf. Dieser Effekt wird erzielt durch die Form und Zusammensetzung unterschiedlich harter Schichten innerhalb eines Zahns und relativ schwachen Verbindungen zwischen den Schichten (Wang et al. 1997; Killian et al. 2009).

Eine sehr abstrakt beschriebene bionische Lösungsidee (Abbildung 14-10) hierzu ist, den Aufbau des Seeigelzahns unter Verwendung anderer Materialien direkt auf die Messerschneide zu übertragen (Produktentwicklung 2013b, S. 33).

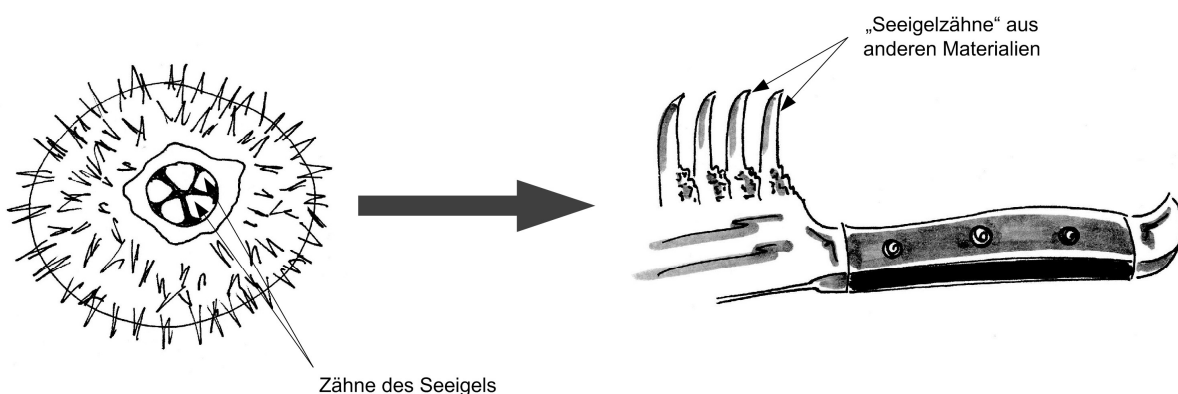


Abbildung 14-10: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 1 zum Problem Selbstschärfung

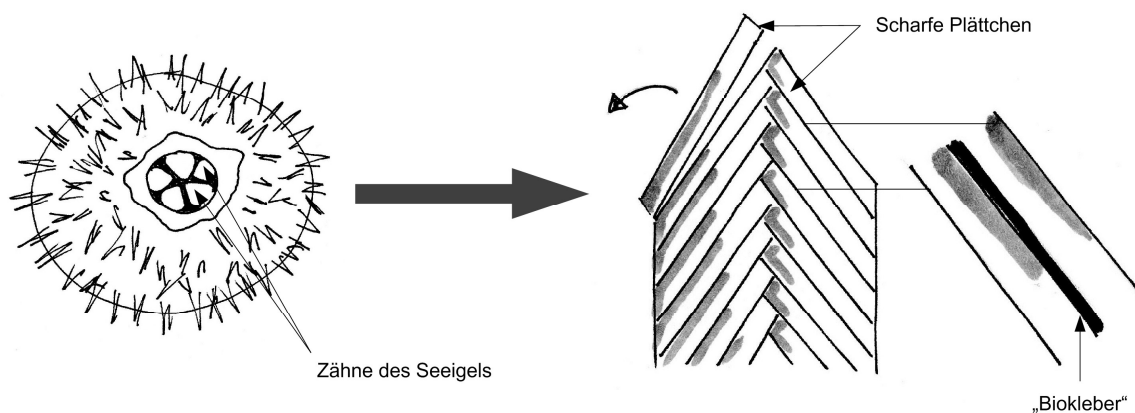


Abbildung 14-11: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 2 zum Problem Selbstschärfung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014d)

Eine weitere bionische Lösungsidee (Abbildung 14-12) ist, die Messerschneide aus mehreren Schichten scharfer Plättchen aufzubauen, die über einen „Biokleber“ miteinander verbunden sind. Der „Biokleber“ verliert seine Klebkraft, bevor die Plättchen stumpf sind und die nächste Schicht scharfer Plättchen übernimmt die Schneidefunktion (Produktentwicklung 2014d, S. 12–13).

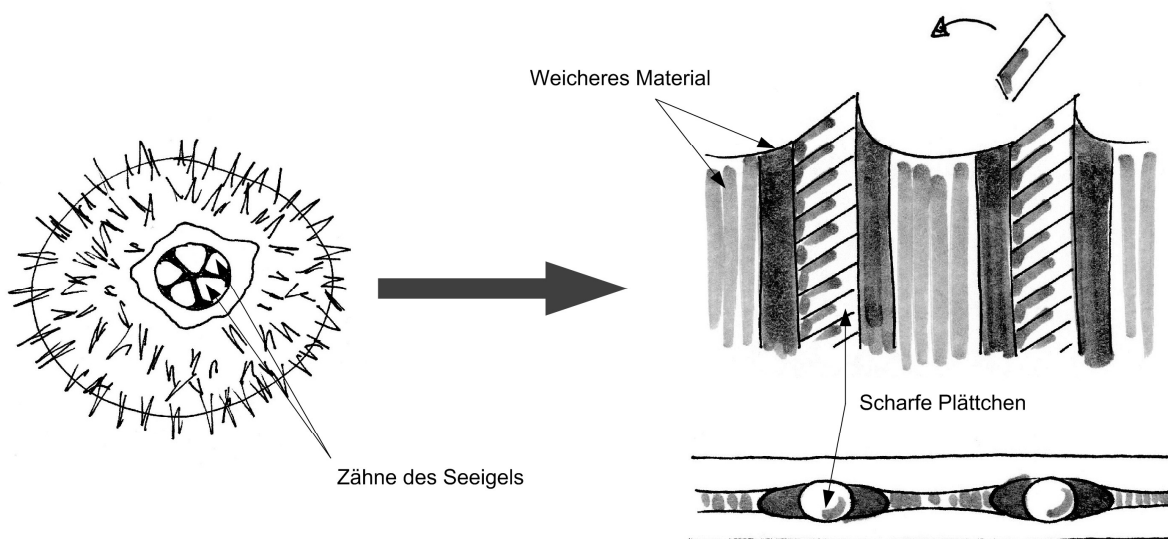


Abbildung 14-12: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 3 zum Problem Selbstschärfung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014d)

Die dritte bionische Lösungsidee (Abbildung 14-12) ist, mehrere Säulen scharfer, harter Plättchen mit definierten Sollbruchstellen in weiches Material einzubetten. Durch eine schnellere Abnutzung des weicheren Materials brechen die Plättchen ab, bevor sie stumpf sind (Produktentwicklung 2014d, S. 11–12).

Eine Kombination unterschiedlich harter Zahnkomponenten bewirkt auch bei den Schneidezähnen von Mäusen eine Selbstschärfung (Wang et al. 2004).

Die bionische Lösungsidee (Abbildung 14-13) hierzu folgt dem gleichen Prinzip wie Lösungsidee drei, mit dem Unterschied, dass die Einbettung in drei weichere Materialien unterschiedlicher Härtegrade erfolgt (steigender Härtegrad von außen nach innen) (Produktentwicklung 2014d, S. 8–9).

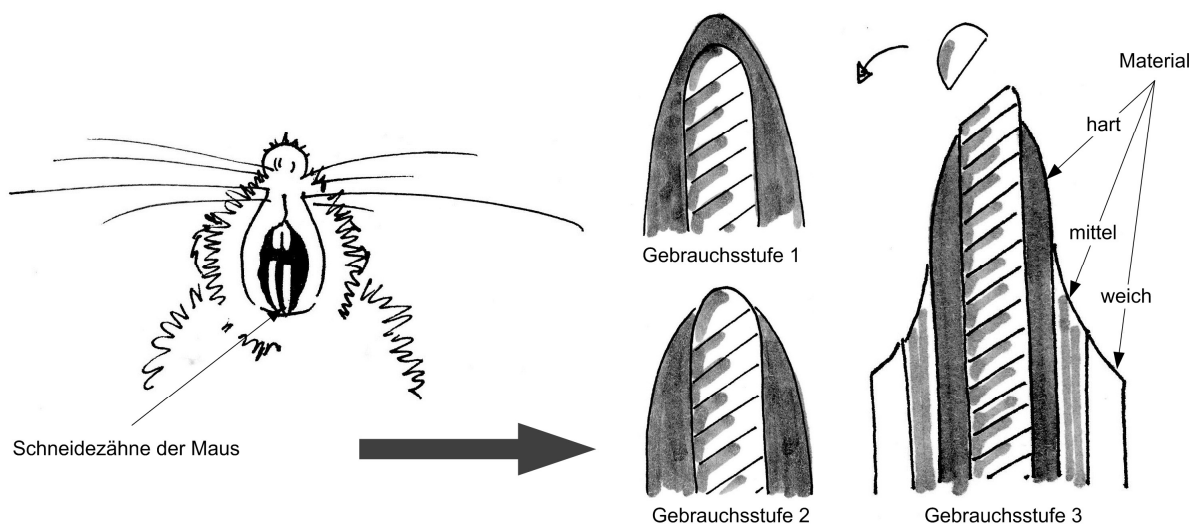


Abbildung 14-13: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 4 zum Problem Selbstschärfung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014d)

14.5.5 Problem Spannungsreduzierung

Das technische Problem der Spannungsreduzierung wurde bearbeitet von den EStudienteilnehmern MT, FD und – im Team – JDM, RM und CM. Ziel war die Entwicklung eines Mechanismus zur Integration in ein Gepäckstück, der die Spannung aufnimmt oder reduziert, die bei Überfüllung auf das Gepäckstück oder dessen Teile wirkt.

Die Anpassung von Strukturen an Spannung ist in verschiedenen biologischen Systemen unterschiedlich realisiert.

In und zwischen biologischen Geweben ist der Vernetzungsgrad von Proteinnetzwerken von Bedeutung für deren Dehnbarkeit (Dastjerdi et al. 2012; Hull und Staehelin 1976; Pezowicz et al. 2005). *Sacrificial Bonds* zwischen Kollagenmolekülen (Proteinketten) z. B. sorgen für Spannungstoleranz in knochenähnlichen biologischen Materialien. Ein Lösen der Bindungen und

die Entfaltung der Proteinketten ermöglichen eine hohe Dehnbarkeit des Materials, bevor dieses bricht (Gao et al. 2004).

Eine bionische Lösungsidee (Abbildung 14-14) hierzu ist, das Gepäckstück aus einem stark vernetzten Material zu gestalten, dessen Vernetzungsgrad durch das Lösen einiger Verbindungen im Netzwerk mit steigender Spannung abnimmt (Produktentwicklung 2013f, S. 38–40, 2014a, S. 32–33). Reversibilität kann durch die Verwendung des Polymers SupraB™ (SupraPolix BV o. J.)⁴⁹ realisiert werden (Produktentwicklung 2013f, S. 38–40).

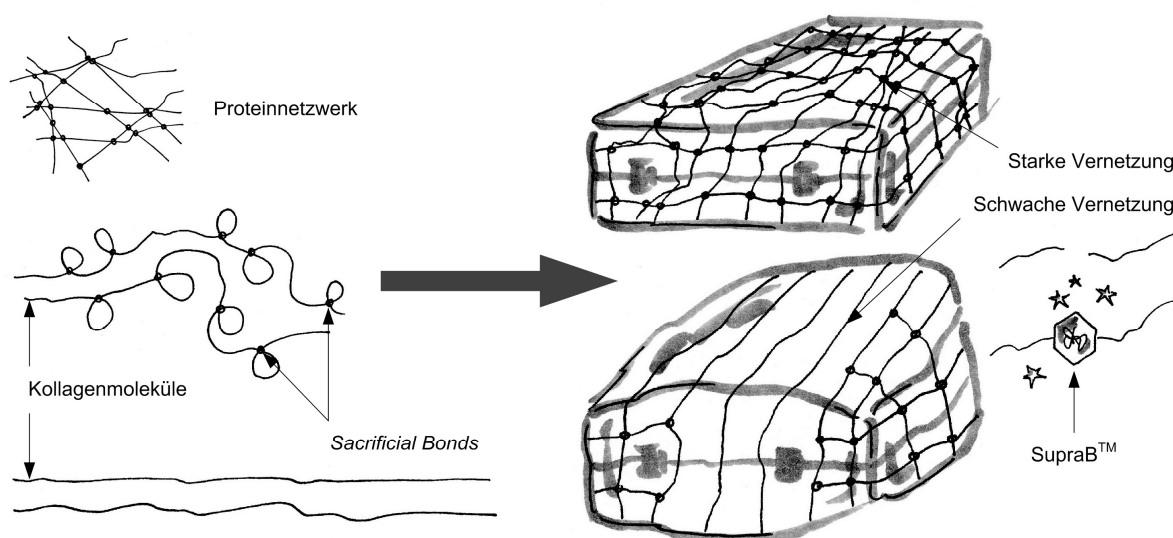


Abbildung 14-14: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 1 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Paul Hansma Research Group o. J.), (Produktentwicklung 2013f)

Die zweite bionische Lösungsidee (Abbildung 14-15) zu *Sacrificial Bonds* ist die Nutzung eines „sich opfernden“ Scherstiftes am Scharnier des Gepäckstücks. Bei steigender Spannung im Scharnier versagt der Scherstift zuerst und verhindert so ein Brechen des Scharniers (Produktentwicklung 2014a, S. 33).

⁴⁹ Zur Verwendung von SupraB™ inspirierte *AskNature*.

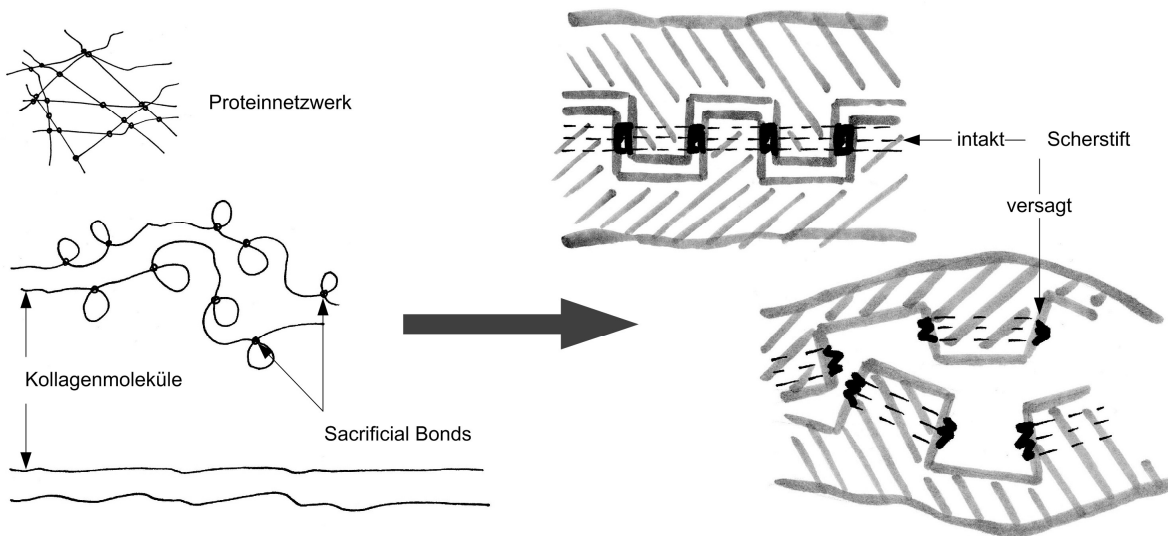


Abbildung 14-15: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 2 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Paul Hansma Research Group o. J.), (Produktentwicklung 2014a)

Von außen nach innen länger werdende Fasern im Kern der Bandscheiben von Wirbeltieren sind eine weitere Anpassung an Spannung (Wade et al. 2011). Nach Versagen der äußeren Fasern durch steigende Spannung entfalten sich die inneren Fasern und nehmen diese auf.

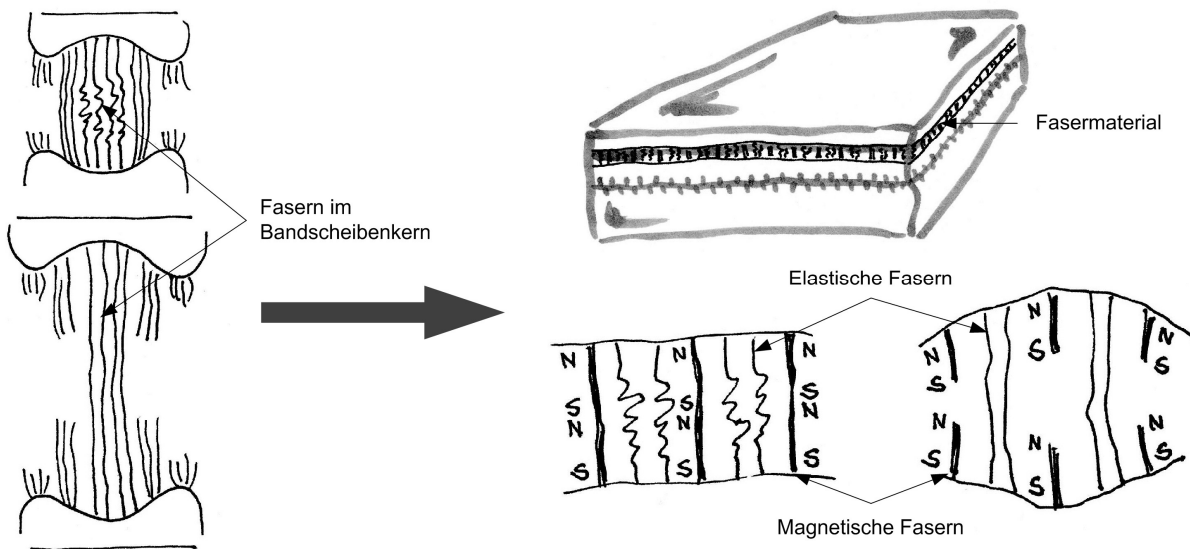


Abbildung 14-16: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 3 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Wade et al. 2011), (Produktentwicklung 2013f)

Die resultierende bionische Lösungsidee (Abbildung 14-16) ist die Integration eines Fasermaterials in den Reißverschluss des Gepäckstücks. Kurze, steife, über Magnetismus⁵⁰ verbundene Fasern sorgen für Stabilität. Lösen sich die magnetischen Verbindungen, übernehmen lange, elastische Fasern die Verschlussfunktion (Produktentwicklung 2013f, S. 40–42).

Bakterien reagieren auf Spannung mit „Notentspannungsventilen“ (*emergency relief valves*). Mechanosensitive Kanäle in der bakteriellen Zellwand öffnen sich bei Erhöhung des Drucks im Zellinneren und entspannen die Zellwand – hier indem sie das Austreten von Flüssigkeit ermöglichen (Liu et al. 2009).

Die erste bionische Lösungsidee (Abbildung 14-17) hierzu ist, das Gepäckstück mit Luftkammern zu bestücken. Über spannungsgesteuerte Ventile wird bei Anstieg des Drucks über einen Schwellenwert über Unterdruck Luft aus diesen Kammern über einen Luftkanal in ein Luftreservoir abgeführt. Der Inhalt des Gepäckstücks verteilt sich auf das in den Luftkammern freigewordene Volumen (Produktentwicklung 2013f, S. 42–44). Möglichkeiten, die Luftkammern erneut mit Luft zu füllen finden sich unter (Produktentwicklung 2013f).

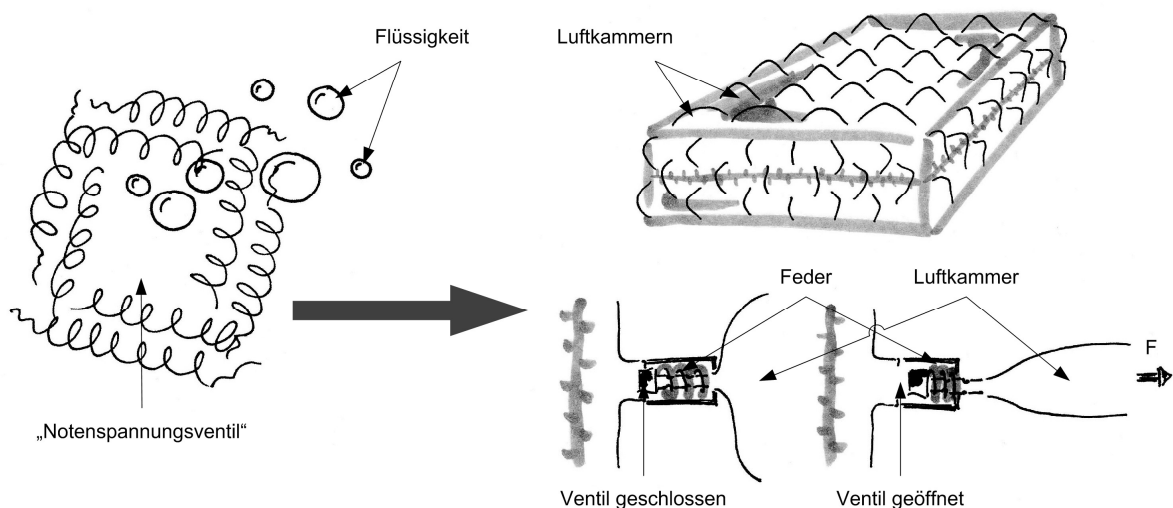


Abbildung 14-17: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 4 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Liu et al. 2009), (Produktentwicklung 2013f)

Die zweite bionische Lösungsidee (Abbildung 14-18) zu „Notentspannungsventilen“ ist eine gefaltete Oberfläche des Gepäckstücks. Diese vergrößert sich bei Druckanstieg. Für Faltung und Steuerung der Oberflächengröße sorgen Federn zwischen den Faltelementen (Produktentwicklung 2013f, S. 44–46).

⁵⁰ Zur Verwendung von Magnetismus inspirierte *AskNature*.

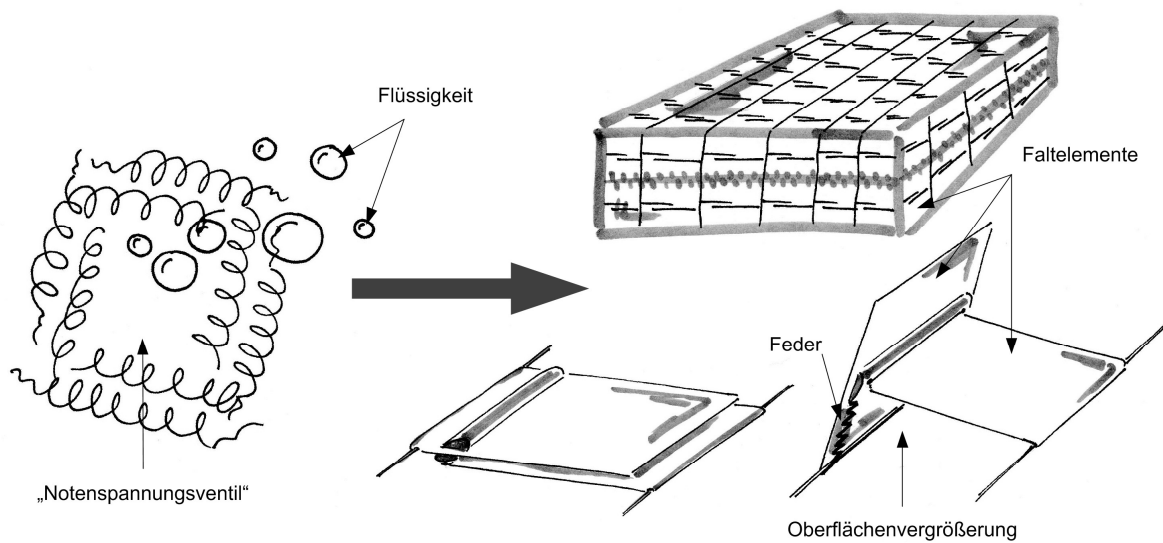


Abbildung 14-18: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 5 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Liu et al. 2009), (Produktentwicklung 2013f)

Sehnen sind in der Lage hohe Zugspannung aufzunehmen (Melvin et al. 2011; Mackey et al. 2008).

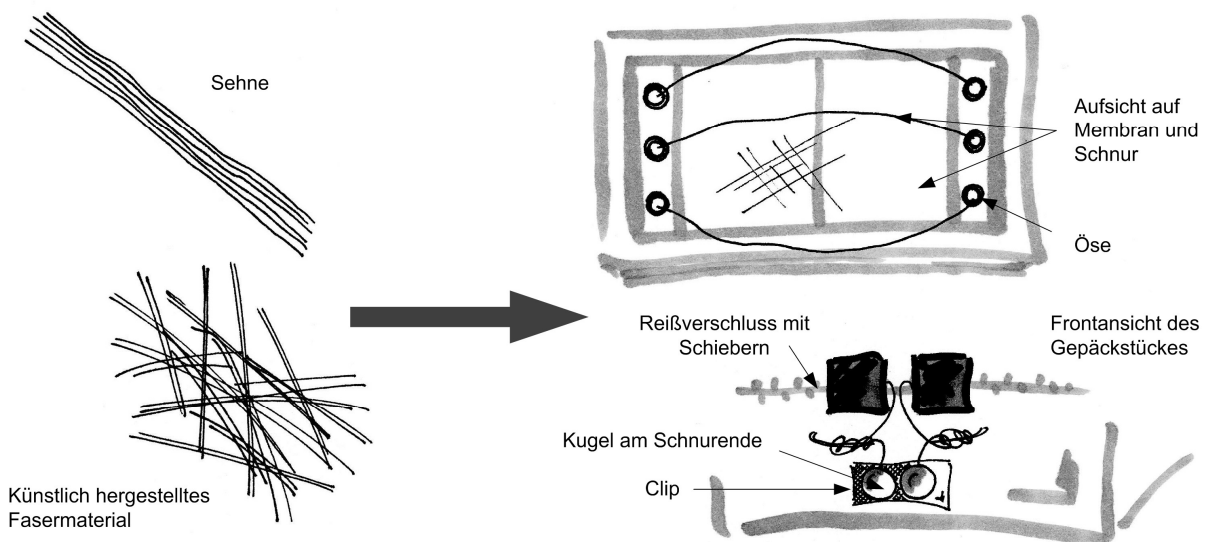


Abbildung 14-19: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 6 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014c)

Sie inspirierten den Spannungsaufnahmemechanismus folgender bionischer Lösungsidee (Abbildung 14-19). An der Innenseite eines Gepäckstückes mit Reißverschluss wird eine Membran

befestigt. Über ein Band, das zur Aufnahme hoher Zugspannung fähig ist, wird die Membran nach Füllung des Gepäckstücks zusammengezogen. Die Spannung wird vom Reißverschluss auf Membran und Band verlagert; der Reißverschluss wird entspannt. Befestigt wird das unter Zugspannung stehende Band an der Front des Gepäckstücks über Kugeln am Bandende und einen Clip (Produktentwicklung 2014c, S. 51–53). Zu dieser Idee kann auch eine als nützlich dokumentierte (aber keiner bionischen Lösungsidee zugeordnete) Publikation zu künstlich hergestelltem Fasermaterial mit hoher Reißfestigkeit inspiriert haben (Xu et al. 2013).

Kinetochor-Mikrotubuli-Verbindungen werden während der Zellteilung durch einen Anstieg der Zugspannung stabilisiert (Akiyoshi et al. 2010). Verantwortlich hierfür ist ein Funktionsprinzip, das dem von *Catch Bonds* ähnelt. *Catch Bonds* sind Verbindungen, die sich mit steigender Zugkraft verstärken. Bei bakteriellen Infektionen spielen *Catch Bonds* eine Rolle bei der Anheftung der Bakterien an eine Wirtsoberfläche (Forero et al. 2006).

Für die bionische Lösungsidee (Abbildung 14-20) wurde das Funktionsprinzip der *Catch Bonds* invertiert. Ein verformbarer Schließmechanismus sorgt dafür, dass ein Schließen des Gepäckstücks ab einem definierten Spannungswert unmöglich wird (Produktentwicklung 2013f, S. 46–47).

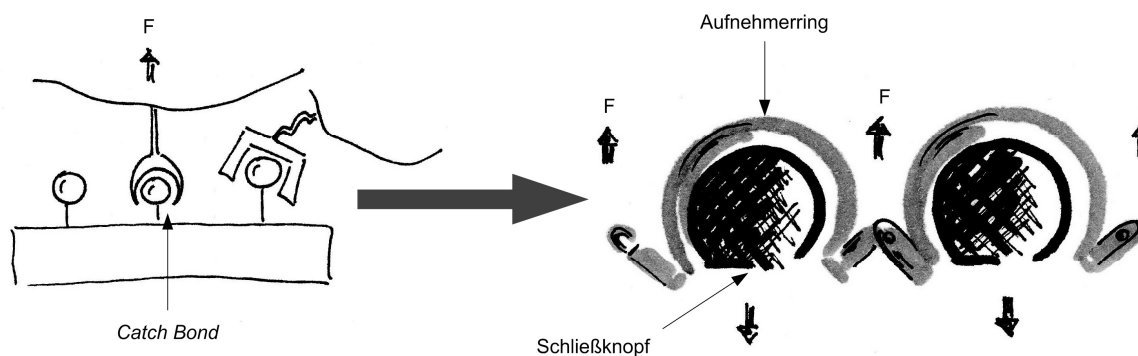


Abbildung 14-20: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 7 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Wendy Thomas Laboratory o. J.), (Produktentwicklung 2013f)

Pflanzen wie die Venusfliegenfalle (*Dionaea muscipula*) sind in der Lage den Druck in ihren Zellen aktiv zu regulieren (Pagitz und Bold 2013).

Dies inspirierte die bionische Lösungsidee (Abbildung 14-21), das Schließen des Gepäckstücks über Luftdruck zu regulieren. Zwei nicht verformbare Hälften des Gepäckstücks sind über einen verformbaren Luftkanal miteinander verbunden. Je höher der Luftdruck im Kanal, desto weiter schließt sich das Gepäckstück. Ist der Luftdruck im Kanal maximal groß, füllt dieser das C-Profil an der Front der unteren Hälfte des Gepäckstücks vollständig aus; das Gepäckstück ist geschlossen. Der Luftdruck wird über ein Ventil mit einer Luftpumpe reguliert (Produktentwicklung 2014c, S. 49–51).

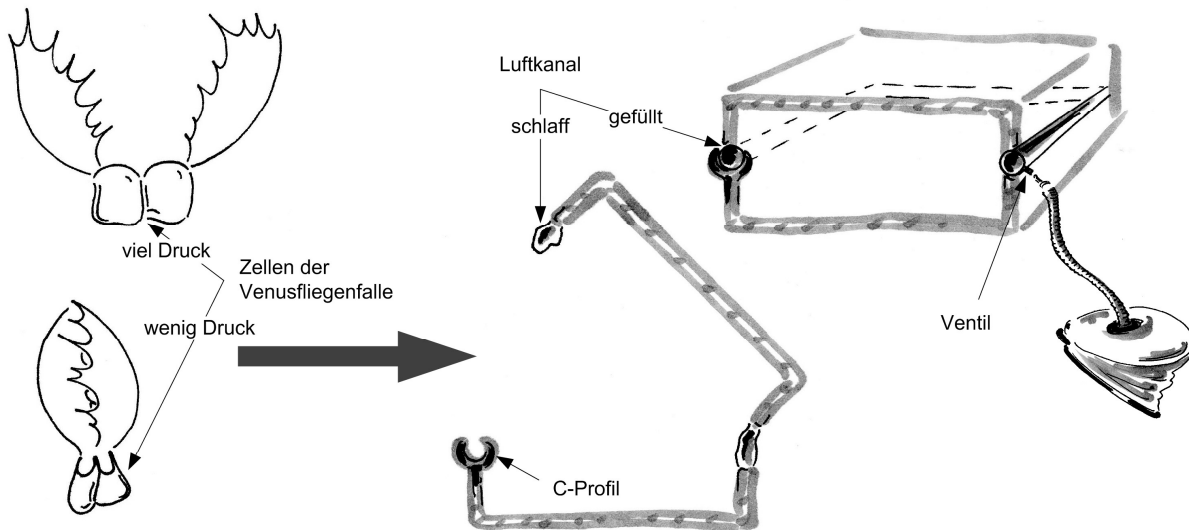


Abbildung 14-21: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 8 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014c)

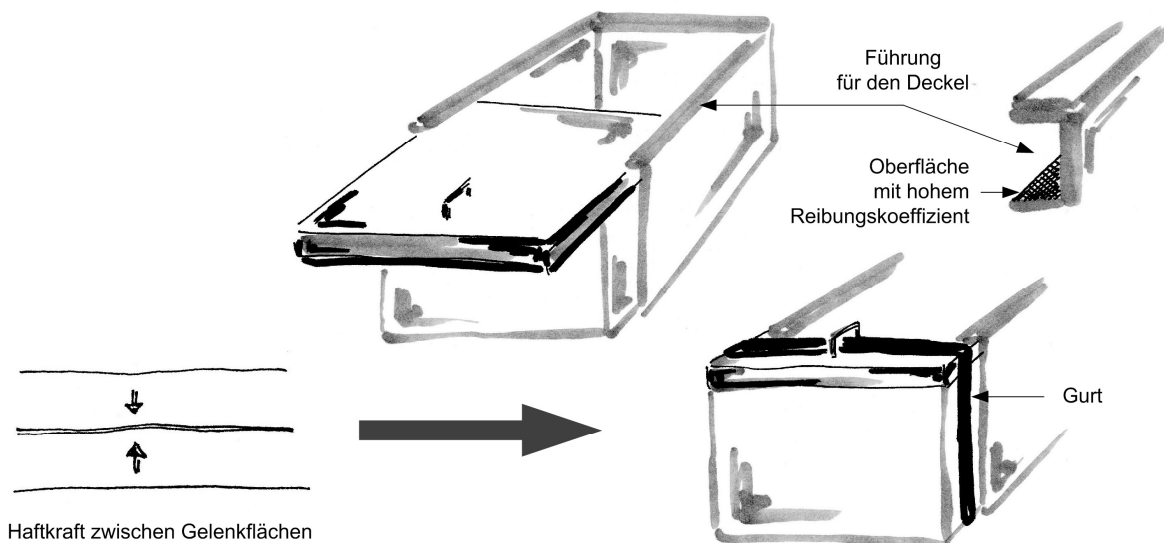


Abbildung 14-22: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 9 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014c)

Eine bionische Lösungsidee (Abbildung 14-22), der keine biologische Publikation eindeutig zuzuordnen ist, beruht auf dem Prinzip der Haftreibung. Das Gepäckstück besteht aus einem oben offenen Grundkörper dessen Deckel in geschlossenem Zustand über Reibung – erzeugt durch eine Oberfläche mit hohem Reibungskoeffizienten und einen Gurt – in Position gehalten wird (Produktentwicklung 2014c, S. 54–56). Hier kann eine als nützlich dokumentierte biologische Publikation zum Aneinanderhaften von Gelenkflächen als Inspiration gedient haben (Nitzan und Etsion 2002).

Der Brustkorb von Rennpferden vergrößert sein Volumen während des Rennens erheblich. Ein Spannen des Sattelgurts übt Druck auf den Brustkorb aus und schränkt so diese Volumenänderung ein. Die Folge ist eine Veränderung der Atmungsmechanik (Bowers und Slocombe 1999; Hoffman et al. 2005).

Die untere Zungenbeinmuskulatur (infrahyale Muskulatur) des Menschen beeinflusst durch ihre Kontraktion Kehlkopffunktion und Spracherzeugung (Hong et al. 1997).

Das Anbringen einer Manschette an Blutgefäßen reduziert die Spannung in den Gefäßwänden (Courtman et al. 1998).

Die resultierende bionische Lösungsidee (Abbildung 14-23) ist durch Gurte am Gepäckstück während des Schließens des Gepäcksstücks die Spannung vom Reißverschluss zu nehmen. Der Reißverschluss kann so darauf hin optimiert werden, den Inhalt des Gepäckstücks vor Umwelteinflüssen zu schützen (Produktentwicklung 2014a, S. 31–32).

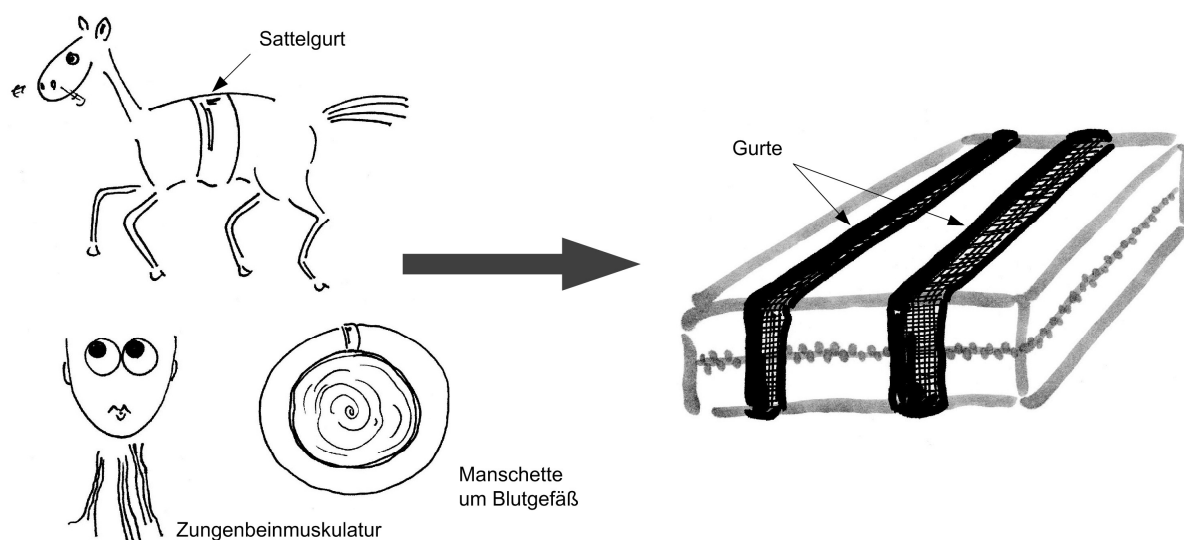


Abbildung 14-23: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 10 zum Problem Spannungsreduzierung

Verschiedene Hohlgane des Körpers (z. B. Harnblase, Darm, etc.) werden über die Kontraktion bzw. Relaxation glatter Muskulatur in ihrer Größe variiert. Die Kontraktion erfolgt über ein Ineinandergleiten der Filamente (Aktin- und Myosinfilamente) einzelner Muskelfasern (Murtada et al. 2012).

Die bionische Lösungsidee (Abbildung 14-24) hierzu ist, einen Schließmechanismus in das Gepäckstück zu integrieren, welcher aus zwei ineinandergleitenden Teilen besteht. Je nach Spannung im Gepäckstück gleiten die Teile stärker oder weniger stark ineinander. Ein Einrasten der Verzahnung beider Teile sorgt für ein Verschließen des Gepäckstücks. Inspiration für die Verzahnung lieferte eine Publikation zu elektrolysebasierten Aktuatoren (Pang et al. 2006) (Produktentwicklung 2014a, S. 33–34).

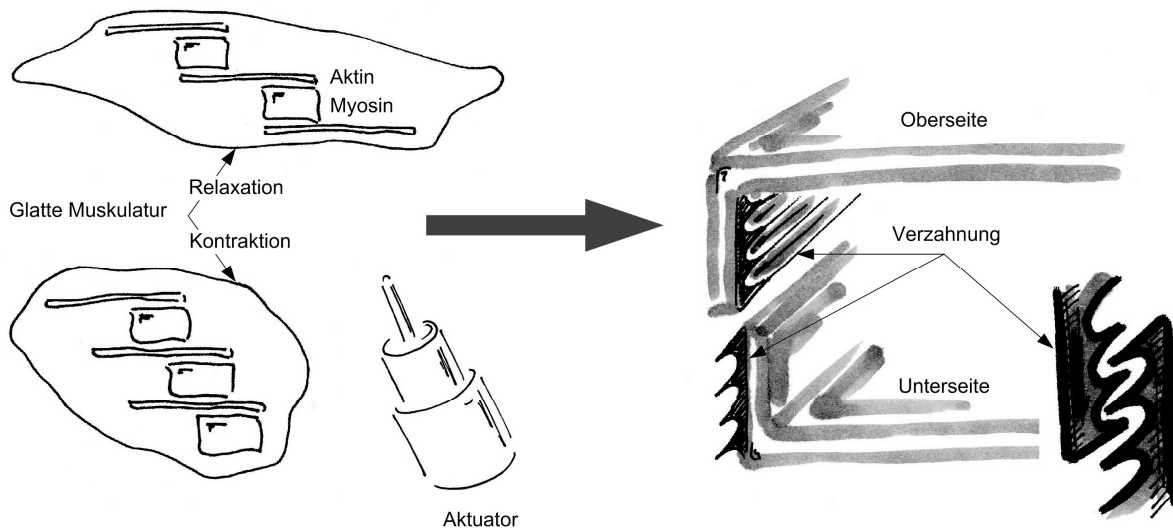


Abbildung 14-24: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 11 zum Problem Spannungsreduzierung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014a)

14.5.6 Problem Haartrocknung

Das technische Problem der Haartrocknung wurde bearbeitet von dem ^EStudienteilnehmer FK. Ziel war es, ein Instrument zur Haartrocknung zu entwickeln, das die Haare ohne Zufuhr elektrischer Energie trocknet.

Die Fähigkeit Wasser aufzunehmen ist in verschiedenen biologischen und technischen (Kapitel 5.1.4) Systemen unterschiedlich realisiert.

Moose sind in der Lage große Mengen an Wasser aufzunehmen und zurückzuhalten (Ye et al. 2004).

Für Pflanzen im Allgemeinen sind Wurzelhaare – lange, schlauchförmige Zellauswüchse an Pflanzenwurzeln – wichtig für die Aufnahme von Wasser (Gilroy und Jones 2000; Kwasniewski et al. 2010).

Große, überlappende Trichome (Pflanzenhaare) des Spanischen Mooses (*Tillandsia usneoides*) nehmen bei steigender Luftfeuchtigkeit Wasserdampf aus der Atmosphäre auf (Martin et al. 2013).

Weitere hydrophile, d. h. wasserliebende, oder flüssigkeitsaufnehmende Systeme oder Strukturen in Biologie und Technik sind z. B. die Teufelszunge (*Amorphophallus konjac*) (Koroskenyi und McCarthy 2001), Anti-Nebel-Beschichtungen (Lee et al. 2013), Nanogras (Yuan und Jin 2011), Superabsorber und andere superhydrophile Materialien (Joung und Buie 2013; Huang et al. 2013; Zhong et al. 2013; Li et al. 2012; Zhang et al. 2013; Allen und Magleby 2001; Amey et al. 2008; Allen und Magleby 2001; Chan et al. 2008) wie Hydrogele (Peppas et al. 2000b; Peppas et al. 2000a; Ahmed et al. 2013; Shahid et al. 2012; Lalani und Liu 2012; Li et al. 2011;

Marcasuzaa et al. 2010; Payne et al. 2012; Koroskenyi und McCarthy 2001; Ahmed et al. 2013) und Cellulosefasern (Payne et al. 2012).

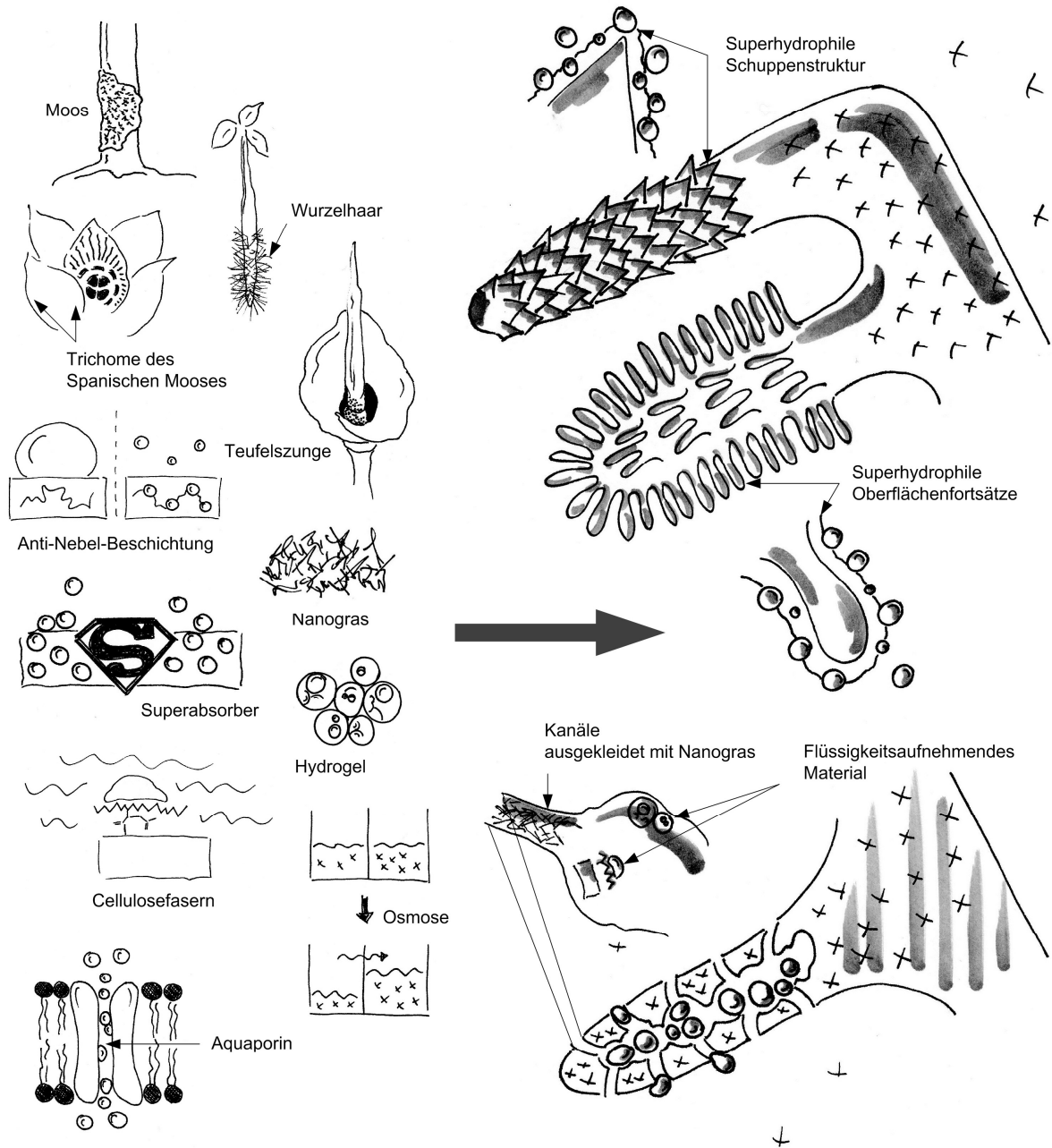


Abbildung 14-25: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee zum Problem Haartrocknung; in Teilen nach (Lee et al. 2013), (Payne et al. 2012)

Wasser kann über Osmose aufgenommen werden. Osmose wird von (Nultsch 2001) definiert als das „Eindringen des Lösungsmittels durch eine semipermeable Membran“. Das Lösungsmittel ist in diesem Fall Wasser. Osmose wird in vielen biologischen, aber auch technischen Systemen zur Wasseraufnahme genutzt (Gruber 1975; Gordon und Nakamura 1975; Heller et

al. 1983; O'Dor und Wells 1978; Steudle 2000; Kargol und Kargol 1996; Neumann et al. 1988; Hsiao et al. 1984; Dhindsa et al. 1975; Hemmerle et al. 2012; Kaufmann 1970).

Eine Steuerung der Wasseraufnahme in biologischen Systemen kann über Aquaporine erfolgen. Aquaporine sind Kanalproteine in Zellmembranen, die ausschließlich Wassermoleküle passieren können (Hillyard und Willumsen 2011; Boursiac et al. 2008; Javot et al. 2003).

Die bionische Lösungsidee (Abbildung 14-25) zu genannten biologischen und technischen Systemen ist, in dem Instrument zur Haartrocknung (z. B. einem Kamm oder einer Bürste) einen negativen osmotischen Druck aufzubauen. Um die Wasseraufnahme zu beschleunigen, sind die zur Wasseraufnahme bestimmten Flächen des Trocknungsinstruments mit superhydrophilen Membranen beschichtet. Diese weisen eine schuppenartige Struktur ähnlich der der Trichome des spanischen Mooses auf. Eine Vergrößerung der wasseraufnehmenden Oberfläche kann auch über Oberflächenfortsätze ähnlich der Wurzelhaare von Pflanzen erzielt werden. Zusätzlich führen kleine, mit Nanogras ausgekleidete Wasserkanäle Wasser in das Innere des Instruments. Analog zu dem Aufbau von Moosen sind die Wasserkanäle von einer im Volumen größeren Kammer oder mehreren kleineren Kammern umgeben, die teilweise mit flüssigkeitsaufnehmendem Material gefüllt sind (Produktentwicklung 2013g, S. 37–38).

14.5.7 Problem Befestigung

Das technische Problem der Befestigung wurde bearbeitet von dem ^EStudienteilnehmer JS. Ziel war es, ein handliches, wiederverwendbares Instrument zur Befestigung von Seilen und Kabeln unterschiedlicher Durchmesser an Wasserrohren von Wasserpumpen zu entwickeln, die in der sardischen Landwirtschaft verwendet werden. Es wurden biologische Lösungen für die Teilprobleme „Seile und Kabel halten“, „Instrument schließen“ und „Rutschen von Seilen und Kabeln verhindern“ sowie das Material des Instruments gesucht.

Für das Halten von Seilen und Kabeln am Wasserrohr lieferten die Gottesanbeterin und Kohlenstoffnanoröhren Inspiration.

Einige Arten von Gottesanbeterinnen klemmen ihre Beute zwischen Femur („Oberarm“) und Tibia („Unterarm“) ein. Sowohl Femur als auch Tibia sind mit Dornen besetzt (Petie und Muller 2007).

Kohlenstoffnanoröhren inspirierten durch ihre Wandstruktur. Kohlenstoffatome formen eine wabenartige Struktur aus Hexameren (Shen et al. 2010).

Inspiration für den Schließmechanismus des Instruments lieferten lösbare Arretierungsmechanismen von Insekten und ein Modell der Insektenfortbewegung.

Insektenflügel werden über kutikuläre Ausstülpungen (Ausstülpungen der Körperdeckschicht) an Körper und Flügel arretiert. Die Arretierung erfolgt über Reibung und ist reversibel (Gorb et al. 2002).

In einem Modell der Insektenfortbewegung werden die Muskeln der Insektenbeine als Linearfedern dargestellt. Inspirierend war hier nicht das biologische System selbst, sondern die Federn, die im Modell die Muskeln simulieren (Seipel et al. 2004).

Für das Verhindern des Rutschens von Seilen und Kabeln lieferten Kannenpflanzen (fleischfressende Pflanzen) Inspiration. Eine anisotrope Oberfläche – mit nicht haftenden und haftenden Bereichen – der auf Beutefang spezialisierten Kanne hindert Beutetiere am Entkommen (Gorb et al. 2004; Bauer et al. 2012). Weitere Inspiration lieferten haarige Flächen auf Insektenbeinen, welche der Anheftung an Substrat dienen (Gorb et al. 2002).

Inspiration für das Material des Instruments lieferten verschiedene Arten von Spinnseide, von denen eine (*viscid silk*) klebt und gummiartige Eigenschaften aufweist (Gosline et al. 1999), Bioplastik (Balaguer et al. 2011) und ein hydrozellulärer Schaum zur Verbesserung der Wundheilung nach Verletzungen (Kunugiza et al. 2010).

Die bionischen Lösungsideen 1 und 2 sind komplett durch die genannten Systeme inspiriert.

Die bionische Lösungsidee 1 (Abbildung 14-26) zu oben genannten Systemen ist, einen klebenden Schaum (Inspiration: hydrozellulärer Schaum) am Wasserrohr zu platzieren. Seile und Kabel werden vor Aushärtung des Schaums in diesen gedrückt. Nach seiner Aushärtung sind Seile, Kabel und Wasserrohr fest miteinander verbunden (Produktentwicklung 2013a, S. 64).

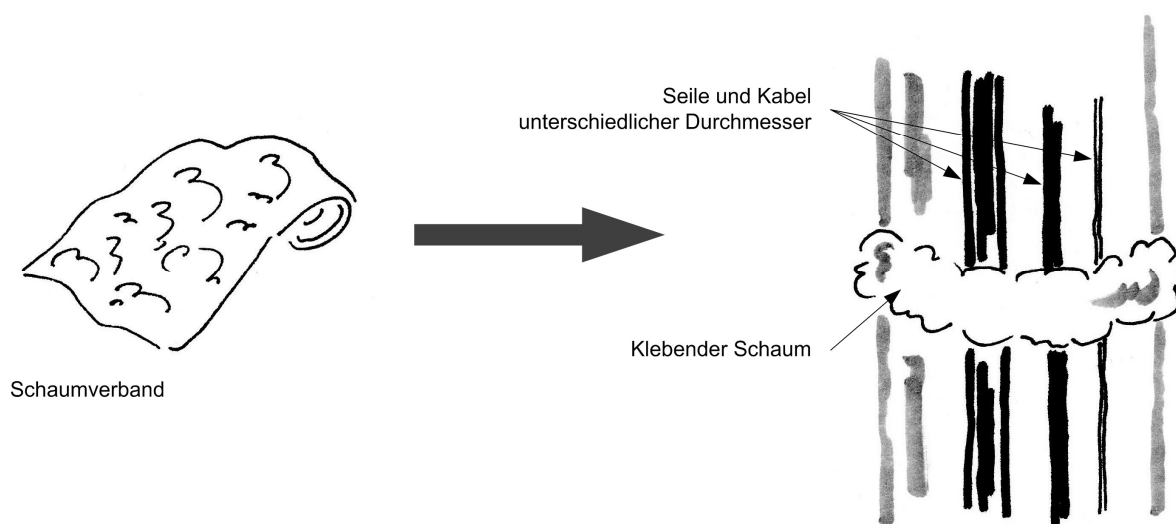


Abbildung 14-26: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 1 zum Problem Befestigung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013a)

Die bionische Lösungsidee zwei (Abbildung 14-27) ist die Nutzung eines Netzes aus Hexameren (Inspiration Kohlenstoffnanoröhren) aus Spinnseide (Inspiration Spinnseide). Das Netz wird um das Wasserrohr gelegt und Seile und Kabel in dieses eingeflochten. Zur Erhöhung der Reibung zwischen Wasserrohr, Seilen und Kabeln wird das Netz gummiert (Inspiration Kannenpflanze) (Produktentwicklung 2013a, S. 64–65).

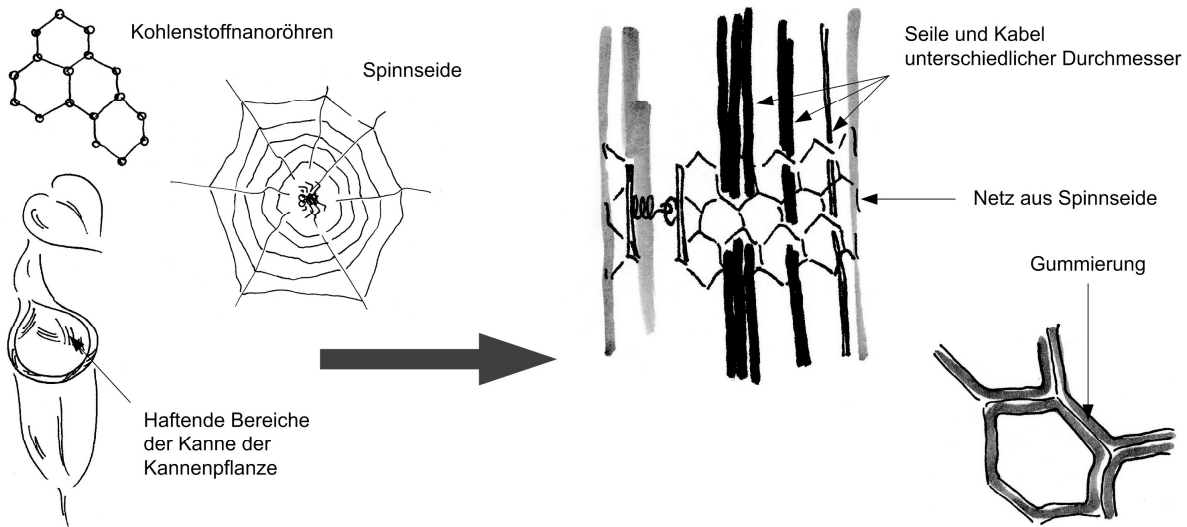


Abbildung 14-27: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 2 zum Problem Befestigung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013a)

Bei der bionischen Lösungsidee 3 (Abbildung 14-28) sind das Verhindern des Rutschens von Seilen und Kabeln sowie das Material durch oben genannte Systeme inspiriert. Das Rutschen von Seilen und Kabeln am Wasserrohr wird durch kleine Haken an der Innenseite des Befestigungsinstruments verhindert (Inspiration haarige Flächen auf Insektenbeinen). Das Befestigungsinstrument ist aus Bioplastik (Produktentwicklung 2013a, S. 65).

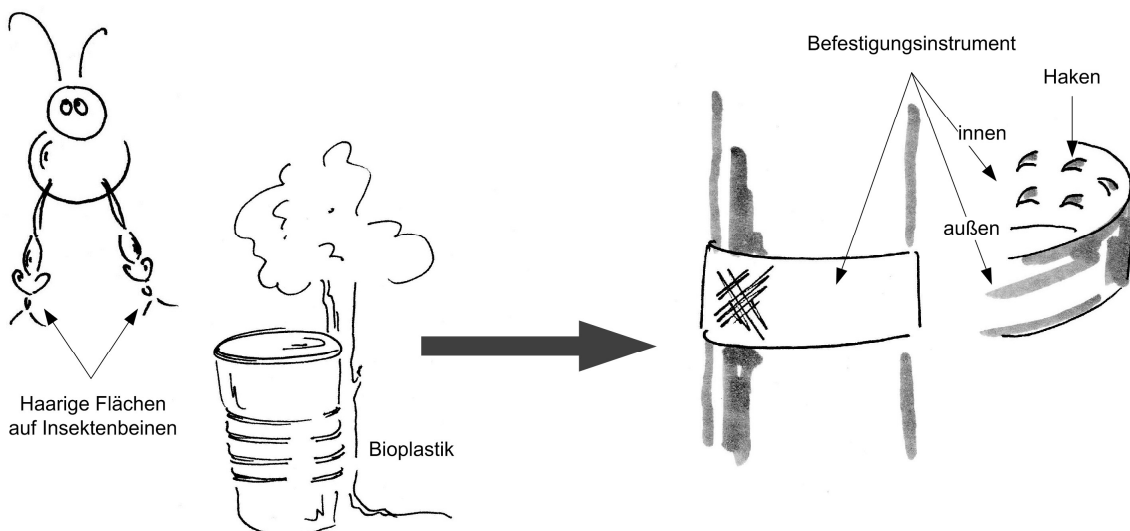


Abbildung 14-28: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 3 zum Problem Befestigung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013a)

Bei der bionischen Lösungsidee 4 (Abbildung 14-29) sind das Halten von Seilen und Kabeln, das Verhindern des Rutschens von Seilen und Kabeln sowie das Material durch oben genannte Systeme inspiriert. Am Wasserrohr gehalten werden Seile und Kabel durch eine Schelle, welche mit „bezahnten“ Klammern bestückt ist (Inspiration Gottesanbeterin). Das Rutschen von Seilen und Kabeln am Wasserrohr wird durch kleine Haken an der Schelle verhindert (Inspiration haarige Flächen auf Insektenbeinen). Schelle und Klammer sind u. a. aus Bioplastik (Produktentwicklung 2013a, S. 66).

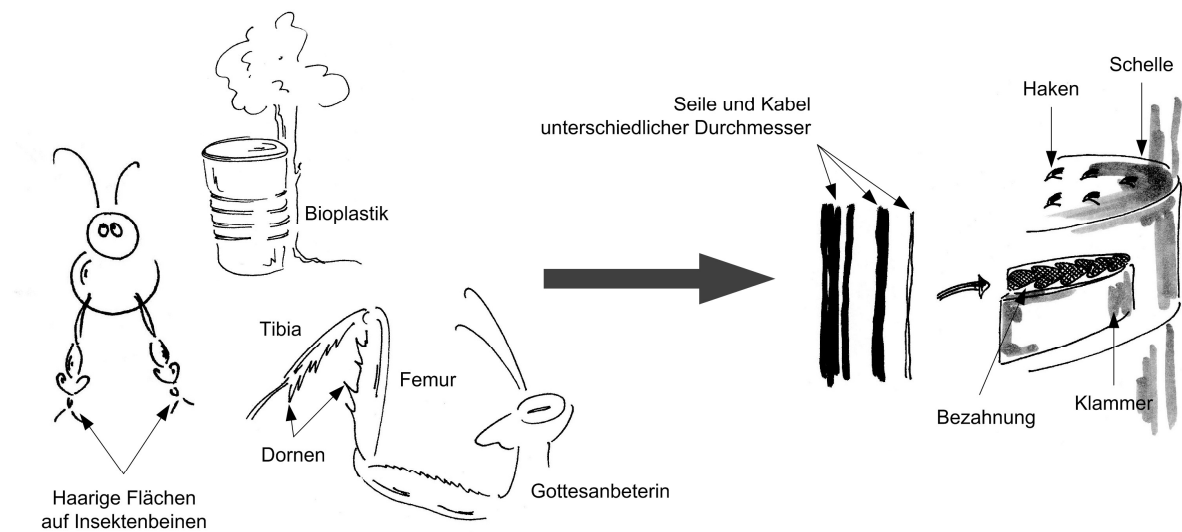


Abbildung 14-29: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 4 zum Problem Befestigung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013a)

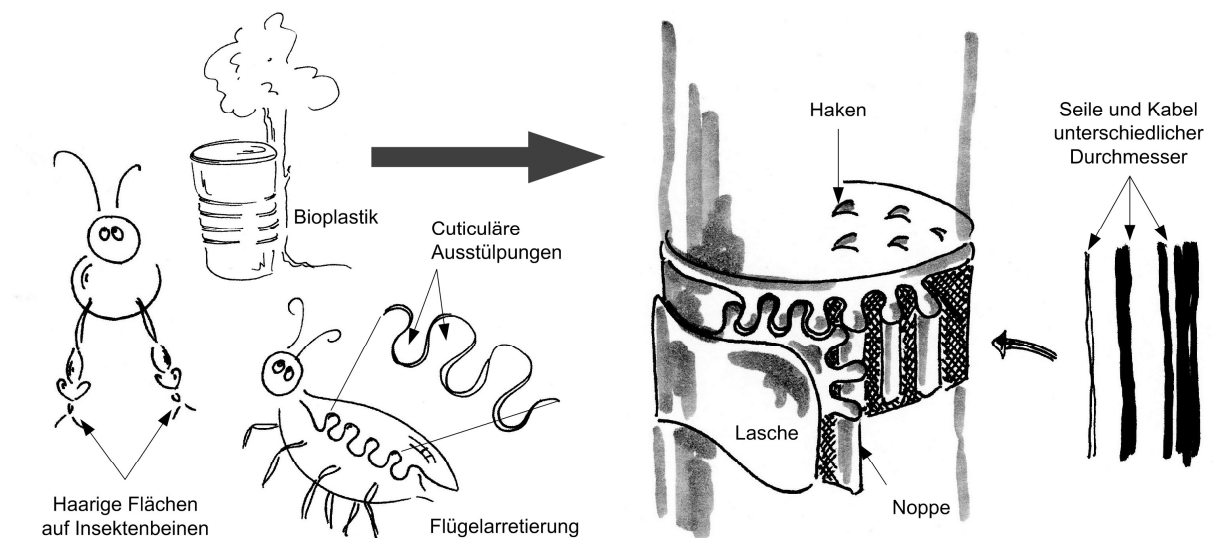


Abbildung 14-30: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 5 zum Problem Befestigung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013a)

Bei der bionischen Lösungsidee 5 (Abbildung 14-30) sind der Schließmechanismus, das Verhindern des Rutschens von Seilen und Kabeln und das Material durch oben genannte Systeme inspiriert. Als Schließmechanismus fungiert eine Lasche mit länglichen Noppen, welche das Befestigungsinstrument über Formschluss schließt (Inspiration Flügelarretierung). Ein Rutschen von Seilen und Kabeln am Wasserrohr wird durch kleine Haken an der Innenseite des Befestigungsinstruments verhindert (Inspiration haarige Flächen auf Insektenbeinen). Das Befestigungsinstrument ist u. a. aus Bioplastik (Produktentwicklung 2013a, S. 66).

Bei der bionischen Lösungsidee 6 (Abbildung 14-31) wird das Verrutschen von Seilen und Kabeln durch einen Gummischlauch verhindert (Inspiration Kannenpflanze). Seile, Kabel und Gummischlauch werden am Wasserrohr fixiert. Über ein Ventil wird der Gummischlauch aufgepumpt und hält so Seile und Kabel unterschiedlicher Durchmesser (Produktentwicklung 2013a, S. 67).

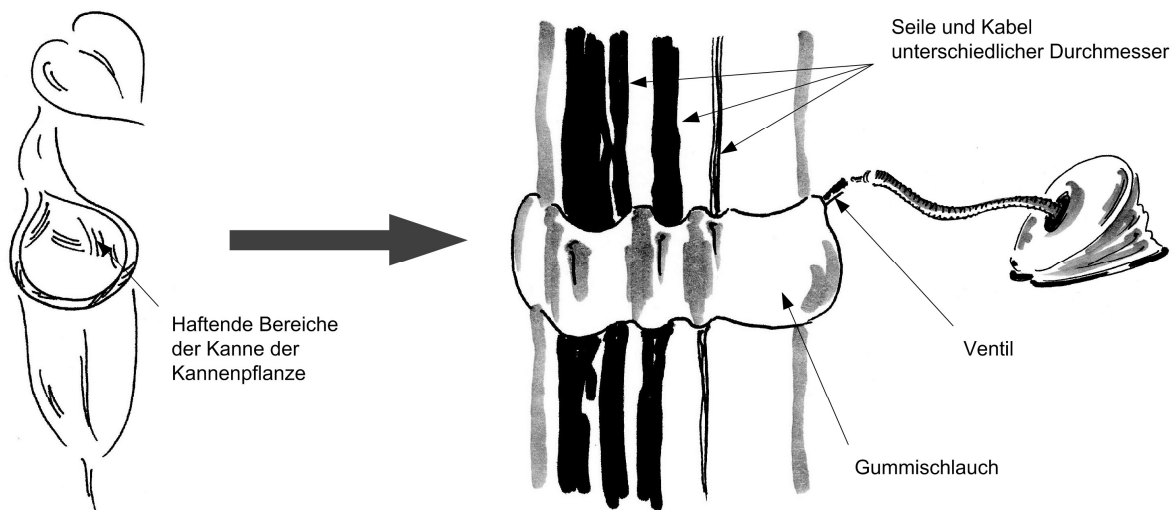


Abbildung 14-31: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 6 zum Problem Befestigung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2013a)

14.5.8 Problem Seil-Motor-Anbindung

Das technische Problem der Seil-Motor-Anbindung wurde bearbeitet von dem ^EStudienteilnehmer PS. Ziel war es, eine Seil-Elektromotor-Anbindung für Seilzugmaschinen zu entwickeln⁵¹. In *PubMed* wurde nach biologischen Lösungen für die Teilprobleme „Kraft (von Motor auf Seil) übertragen“, „Seil führen“ und „Seil ausgeben“ gesucht. Für die Suche wurde *BIOscrabble* angewendet sowie eine abgewandelte Form von *BIOscrabble* angewendet. Bei der abgewandelten Form – der *PubMed-Bildersuche* – wurde nur in *PubMed Central*[®] (*PMC*) und hier nur nach Abbildungen gesucht. Das genaue Vorgehen ist Kapitel 6.2.4 zu entnehmen.

⁵¹ Auf Details wird an dieser Stelle verzichtet, um keinen Rückschluss auf das Unternehmen zuzulassen, das das Problem formulierte. Dies gilt auch für die entwickelten bionischen Lösungen.

Im Folgenden ist gekennzeichnet, ob eine Inspiration über *BIOscrabble* oder die *PubMed-Bildersuche* gefunden wurde.

Biologische Inspirationen für die Kraftübertragung in der Seil-Motor-Anbindung sind Mechanismen zur Verpackung von DNA, die Umgestaltung von Nukleosomen (Untereinheit des „DNA-Verpackers“ Chromatin) und Polymeren, der Aufbau der mitotischen Spindel und die Flugmuskulatur von *Drosophila* (Taufliege).

Das Genom von Bakteriophagen (Viren) wird mit der größten bisher bekannten Dichte von einem energiegesteuerten molekularen Motor in ihre „Verpackung“, das Capsid, gepackt (*BIOscrabble*: (Leforestier 2013), *PubMed-Bildersuche*:(Leforestier 2013; Zhang et al. 2011; Williams 2007; Lee et al. 2009; Serwer 2011). Ein Modell des Verpackungsmechanismus des Bakteriophagen phi29 ist das *Inverse Chinese Finger Puzzle*-Modell. Die Verbindungselemente zweier Ringe vernetzen sich durch deren gegenläufige Rotation (*PubMed-Bildersuche*) (Lee et al. 2009).

Die Verschiebung von um Nukleosomen gewickelter DNA erfolgt über einen Umbau der Nukleosomen. Dieser wird über *Chromatin Remodelers* gesteuert und dient z. B. der Freilegung der DNA-Bindestellen für Proteine (Cairns 2007).

Asymmetrische, sternförmig angeordnete Polymere sind in der Lage ihren Verzweigungspunkt zu verschieben. Dies trägt u. a. zu deren Relaxation bei (Masubuchi et al. 2011).

Für die Mitose (Kernteilung) von eukaryotischen Zellen (Zellen mit Zellkern) ist die Ausbildung einer Spindel notwendig. Diese besteht aus Mikrotubuli, die sich ausgehend von zwei Polen am Spindeläquator überlappen (Glotzer 2009; Wehner und Gehring 1995, S. 42).

Das Zusammenspiel von Flugmuskulatur und Sehnen in *Drosophila* hat Einfluss auf die Entstehung der Muskelfibrillen. Muskelfibrillen bauen sich nur dann auf, wenn eine stabile Verbindung von Muskeln und Sehnen gewährleistet ist (Weitkumat et al. 2014).

Die erste bionische Lösungsidee (Abbildung 14-32) zur Übertragung der von dem Elektromotor erzeugten Kraft (rotatorische Bewegung der Motorwelle) auf das Seil der Seilzugmaschine (translatorische Bewegung) ist, das Seil über eine auf der Motorwelle montierte Treibscheibe an den Motor zu binden. Die Kraftübertragung erfolgt mittels Reibung. Die Idee, das Seil über den Elektromotor laufen zu lassen, statt diesen am Seilende zu platzieren wurde inspiriert durch das Passieren des molekularen „Verpackungsmotors“ durch die Bakteriophagen-DNA (Leforestier 2013; Produktentwicklung 2014b, S. 40, 47). Um die Reibung an der Treibscheibe zu erhöhen, wird das Seil mehrmals um diese gewickelt. Inspiration war die Wicklung von DNA um Nukleosomen (Produktentwicklung 2014b, S. 39).

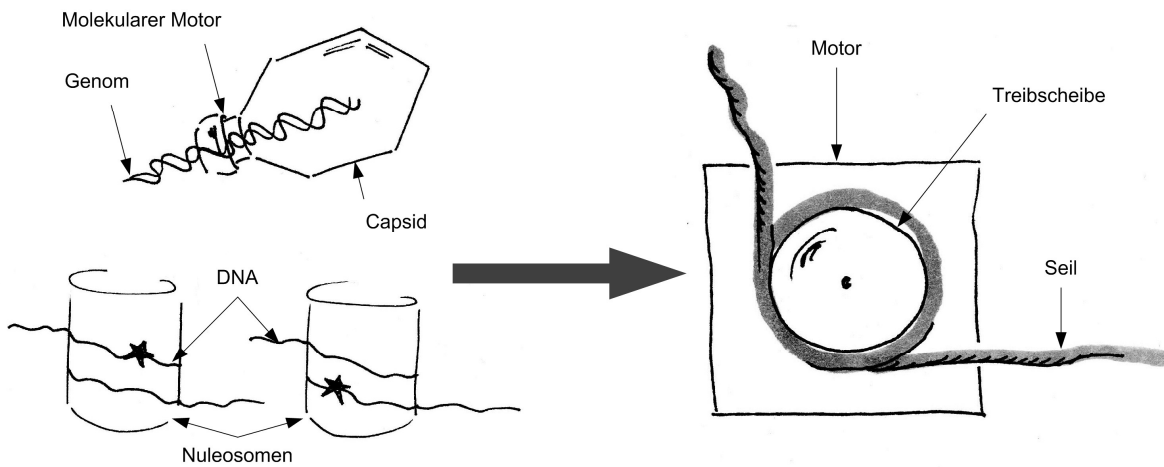


Abbildung 14-32: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 1 zum Problem Seil-Motor-Anbindung; in Teilen nach (Zhang et al. 2011), (Produktentwicklung 2014b)

Bei der zweiten bionischen Lösungsidee (Abbildung 14-33) wird wie bei Lösungsidee 1 Reibung durch Aufwickeln des Seils erzeugt. Um die Gefahr von Wicklungsfehlern bei mehrlagiger Wicklung zu umgehen, wird das Seil einlagig um eine große Seilrolle gewickelt. Inspiriert wurde diese Lösung durch die Flugmuskulatur von *Drosophila*, genauer deren Anbindung an die Flügel und die Kreisbahn, welche diese bei der Flugbewegung beschreiben (Produktentwicklung 2014b, S. 37).

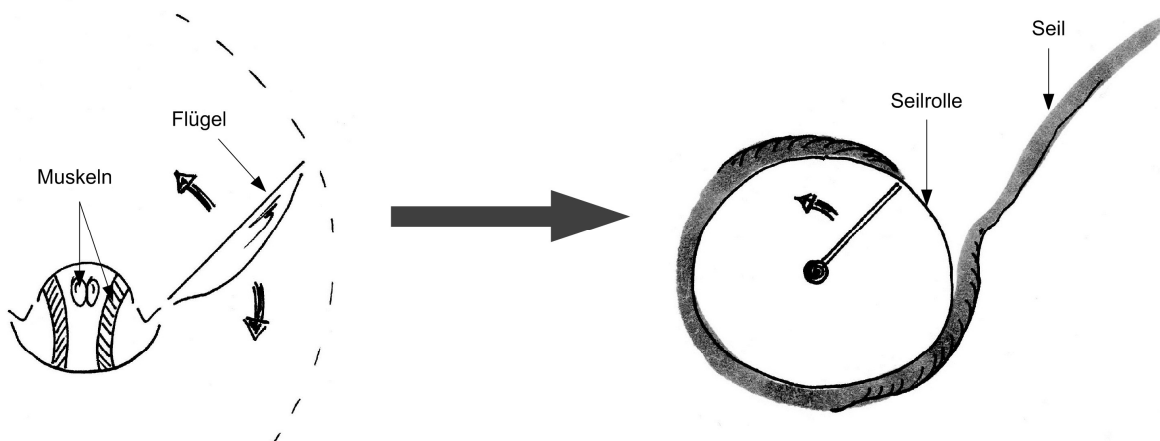


Abbildung 14-33: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 2 zum Problem Seil-Motor-Anbindung; in Teilen nach (Dickinson 2005), (Produktentwicklung 2014b)

Die dritte bionische Lösungsidee (Abbildung 14-34) ist inspiriert durch die Verschiebung des Verzweigungspunkts in Polymeren. Die Idee ist, die Motorwelle des Elektromotors über einen

Hebelarm mit losen Rollen des Seilzugs zu verbinden. Durch Zug an den Seilen wird der Hebelarm inklusive Rollen nach oben bewegt. Der Motor bildet ein Gegenmoment zu den an den Seilen anliegenden Kräften (Produktentwicklung 2014b, S. 41).

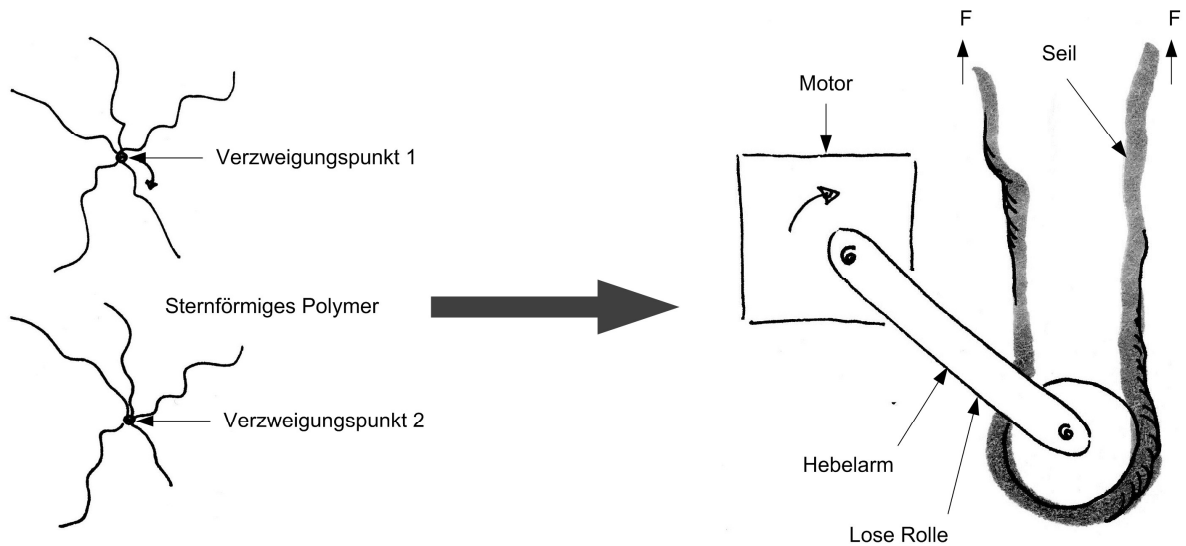


Abbildung 14-34: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 3 zum Problem Seil-Motor-Anbindung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014b)

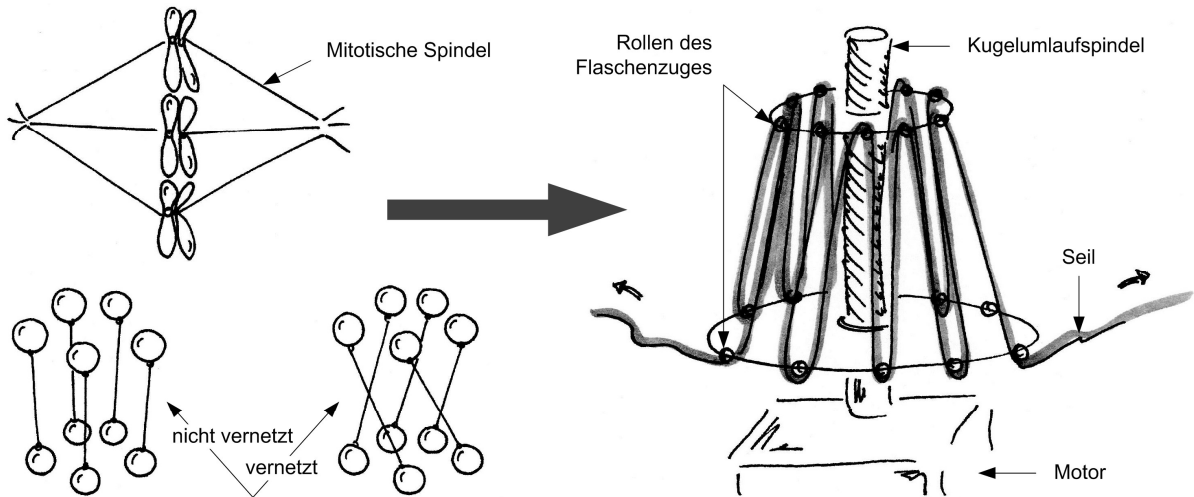


Abbildung 14-35: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 4 zum Problem Seil-Motor-Anbindung; in Teilen nach (Lee et al. 2009), (Produktentwicklung 2014b)

Die vierte bionische Lösungsidee (Abbildung 14-35) sieht eine Kraftübertragung mittels einer Kugelumlaufspindel vor. Die Ausgestaltung der Spindel wurde durch die mitotische Spindel und das *Inverse Chinese Finger Puzzle*-Modell inspiriert. Das Seil wird an den Elektromotor

über einen um die Kugelumlaufspindel angeordneten Flaschenzug angebunden. Die Rollen des Flaschenzugs sind an zwei Ringen befestigt. Über eine Änderung des Abstands der Ringe zueinander wird die rotatorische Bewegung der Motorwelle in eine translatorische Bewegung des Seils übersetzt (Produktentwicklung 2014b, S. 35).

Zu dem Teilproblem „Seil führen“ wurde keine biologische Lösung gefunden.

Die biologische Inspiration zur Seilausgabe war die mechanische Steuerung der Augenbewegung. Diese erfolgt über ein kompliziertes Arrangement aus extraokulären Muskeln und das sie umgebende Gewebe (*PubMed-Bildersuche*) (Demer 2006).

Die bionische Lösungsidee hierzu (Abbildung 14-36) ist, die Seilausgabe an den Zugpunkten des Seilzugs kardanisches aufzuhängen. Diese Aufhängung ermöglicht eine Ausrichtung des Seilausgangs auf unterschiedlichste Zugrichtungen (Produktentwicklung 2014b, S. 44).

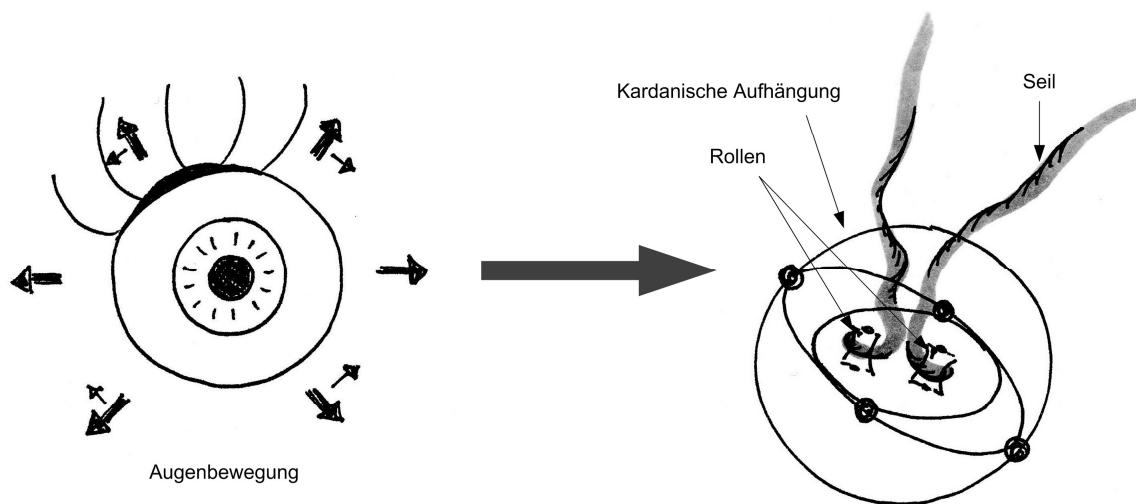


Abbildung 14-36: Biologische Inspiration und bionische Lösungsidee 5 zum Problem Seil-Motor-Anbindung; in Teilen nach (Produktentwicklung 2014b)

14.6 PubMed-Inspirationen in AskNature

Tabelle 14-26 zeigt, welche der von den ^EStudienteilnehmern für die Entwicklung ihrer bionischen Lösungsideen nützlichen Inspirationen aus *PubMed* zu dem Zeitpunkt ihrer Suche mit den dafür verwendeten Suchanfragen in *AskNature* zu finden waren⁵².

Tabelle 14-26: Suchdetails der Suche nach PubMed-Inspirationen in AskNature

| PubMed-Inspiration | In AskNature | Suchanfrage in AskNature | Suchdatum |
|---|--------------|---|--------------------------|
| Feuchtbiotop Ionenaustausch | ja | +wetland filter | 03.05.2014 |
| Fangfäden Spinnen Klebrigkeit bei Feuchtigkeit | nein | +waal* +spider* | 09.05.2014 |
| Landschnecke (<i>Isognomostoma isognomostoma</i>) | nein | +snail* +adhe* +land*, +snail* +adhe*, +isognomostoma | 09.05.2014 05.12.2015 |
| Grüner Sauerampferkäfer (<i>Gastrophysa viridula</i>) | ja | +beetle +water | 09.05.2014 |
| Taghaffe | nein | +lacewing | 09.05.2014 |
| Dickschnabellumme (<i>Uria lomvia</i>) | nein | +guillemot +temp*, +uria +temp*, +uria +lomvia | 03.05.2014 05.12.2015 |
| Flug Star (<i>Sturnus vulgaris</i>) | nein | +bird +temp*, +bird +fligh* | 03.05.2014 |
| Seekuh (<i>Tricheus manatus latirostris</i>) | nein | +manat* | 09.05.2014 |
| Thunfisch | ja | +tun* | 09.05.2014 |
| Wärmeleitfähigkeit Spinnseide | nein | +silk +therm*, +nephila, +spider + heat | 03.05.2014 05.12.2015 |
| Zähne Seeigel | ja | sea urchin | 09.05.2014 |
| Strukturierung Schmelz Mausezahn | ja | +incisor | 13.05.2015 |
| Proteinnetzwerke: Dehnbarkeit durch Vernetzungsgrad | nein | +protein +network, +sacrificial +bond, sacrificial bond, +bond +collagen, +annul* +fibros*, +nanostructure* +surface*, +xenopus, +tight* +junction* +network* | 09.05.2014 05.12.2015 |
| Kern Bandscheibe | nein | +disc* +endplate* | 09.05.2014 |
| „Notentspannungsventile“ Bakterien | ja | +mechanosens* +bact* | 09.05.2014 |
| Aufnahme Zugspannung Sehnen | nein | +tendon, +tendon +muscle, +string +stress | 13.05.2015 |
| Kinetochor-Mikrotubuli-Verbindungen | nein | +kinetoch* +microtub* | 09.05.2014 |
| Catch Bonds bakterielle Infektion | nein | +membrane* +coli* +adh*, +coli* +adhe*, +catch* +bond* | 09.05.2014 06.12.2015 |
| Venusfliegenfalle (<i>Dionaea muscipula</i>): druckabhängige Strukturen | nein | +shape +shell, venus flytrap | 13.05.2015 |
| Haftkraft Gelenkflächen | nein | +disc +joint, +mandibular* +joint*, +adhesiv* +articular* | 13.05.2015 06.12.2015 |
| Auswirkung Gurt auf respiratorisches System/ Leistung Pferd | nein | +respirat* +system +horse, +horse | 13.05.2015 |
| Einfluss Zungenbeinmuskulatur auf Kehlkopffunktion und Sprach- erzeugung | nein | +strap +muscle, +phona* | 13.05.2015 |
| Reduzierung Spannung in Gefäßwänden durch Manschette | nein | +band*, +cuff +vessel, +pulsat* +strain* | 13.05.2015 06.12.2015 |
| Kontraktion/ Relaxation glatte Muskulatur | ja | +smooth +muscle +contract*, +muscle +contract*, +muscle +overlap* | 13.05.2015 |
| Elektrolysebasierte Aktuatoren | nein | +diaphragm, +electrolysis* +actuator* | 13.05.2015 06.12.2015 |
| Fasermaterial mit hoher Reißfestigkeit | nein | +cardio +myo, +elastomeric* +polymer*, +elastomeric* +polymer* +tissue* | 13.05.2015 06.12.2015 |
| Moos | ja | +bryo* +water* | 09.05.2014 |

⁵² Bei den gezeigten Ergebnissen kann weder ausgeschlossen werden, dass eine *PubMed*-Inspiration nicht gefunden wurde, weil in *AskNature* mit den falschen Suchworten gesucht wurde, noch kann garantiert werden, dass die ^EStudienteilnehmer mit den *AskNature*-Beschreibungen ihrer *PubMed*-Inspirationen auf die gleichen bionischen Lösungsideen gekommen wären.

| PubMed-Inspiration | In AskNature | Suchanfrage in AskNature | Suchdatum |
|---|---------------------|--|------------------|
| Wurzelhaare | nein | +root* +hair* +water*, +root* +hair* +nutr* | 09.05.2014 |
| Trichome Spanisches Moos (<i>Tillandsia Usneoides</i>) | ja | +bromelia* +humid*, +tillandsia | 09.05.2014 |
| Teufelszunge | nein | +konjac* | 09.05.2014 |
| Anti-Nebelbeschichtungen | ja | +anti* +fog* | 06.12.2015 |
| Nanogras | nein | nanogras | 06.12.2015 |
| Superhydrophile Materialien | ja | +hydrophil* | 09.05.2014 |
| Superabsorber | ja | +superabsorb* | 09.05.2014 |
| Ölaufnehmende Cellulosefasern | nein | +cellulos* +fiber* +oil* | 09.05.2014 |
| Osmose | nein | +osmosis, osmosis, osmo* | 06.12.2015 |
| Spinnseide: <i>viscid silk</i> | nein | +visc* +silk*, +silk +rubber | 06.12.2015 |
| Beutefixierung Gottesanbeterin | nein | +mant* +prey*, +leg* +insect* +spin*, +insect* +claw*, mant* | 09.05.2014 |
| Kohlenstoffnanoröhren | nein | +fullerine carbon nanotubes, +carbon +nanotub* | 13.05.2015 |
| Lösbare Arretierungsmechanismen Insekt | ja | +wing* +lock* | 09.05.2014 |
| Modell Fortbewegung Insekt | nein | +insect +locomotion, +insect +motion, +locomotion | 13.05.2015 |
| Anisotrope Oberfläche Kannenpflanze (<i>Nepenthes gracilis</i>) | ja | +pitch* +plant* +wax* | 09.05.2014 |
| Bioplastik | nein | +bioplastic* +wheat* | 13.05.2015 |
| Hydrozellulärer Schaum | nein | +hydrocellular* +foam* | 13.05.2015 |
| Mechanismen Verpackung DANN | nein | +dna +bacteri +phag, +dann +bact* +capsid | 13.05.2015 |
| Umgestaltung Nukleosomen | nein | +chromatin | 13.05.2015 |
| Asymmetrische sternförmige Polymere | nein | +polymer +star, +chain +polymer | 13.05.2015 |
| Spindel Mitose | nein | +spindle +assembl*, +spindle | 13.05.2015 |
| Zusammenspiel Flugmuskulatur, Sehnen Drosophila | nein | +drosophila + muscle | 13.05.2015 |

14.7 Zur Verfügung gestelltes Material des Fokusexperiments

Abbildung 14-37, Abbildung 14-38 und Abbildung 14-39 zeigen das den Versuchsteilnehmern im quantitativen Fokusexperiment zur Verfügung gestellte Material.

Abbildung 14-37 zeigt die von der Versuchsleiterin vorgetragenen Folien für Kontroll- und Versuchsgruppe.

Aufgabenstellung

Du möchtest in der Biologie nach Lösungen für **2** technische Probleme suchen.

Notiere **Suchworte** von denen Du denkst, dass Sie Dir dabei helfen,
biologische Texte zu finden,
die Dich zu einer **Lösung** Deines Problems inspirieren.

Pro Problem hast Du **15 Minuten** Zeit.

Achte darauf,

möglichst **unterschiedliche Suchworte** zu notieren,
um möglichst viele unterschiedliche Lösungen finden.



Suchwortart und Beispiel

Notiere nur Suchworte, die
Funktionen
der zu entwickelnden technischen Lösung beschreiben.

Beispiel für ein technisches Problem:

Reversible Befestigung von Kabeln unterschiedlicher Durchmesser an das Rohr einer Wasserpumpe für den Einsatz auf Sardinien.

Beispiele für Suchworte zu diesem Problem:

- attach (befestigen)
- link (verbinden)
- close (verschließen)
- ...

Suchwortart und Beispiel

Notiere nur Suchworte, die
Funktionen, Eigenschaften und **Umwelt**
der zu entwickelnden technischen Lösung beschreiben.

Beispiel für ein technisches Problem:

Reversible Befestigung von Kabeln unterschiedlicher Durchmesser an das Rohr einer Wasserpumpe für den Einsatz auf Sardinien.

Beispiele für Suchworte zu diesem Problem:

| Funktion | Eigenschaft | Umwelt |
|----------------------|------------------------------|--------------------|
| attach (befestigen) | antislip (rutschfest) | force (Kraft) |
| link (verbinden) | reusable (wiederverwendbar) | friction (Reibung) |
| close (verschließen) | water resistant (wasserfest) | heat (Hitze) |
| ... | ... | ... |



Technische Probleme

1. Finde eine Möglichkeit, ein Geschenk so zu verpacken, dass es beim Transport zu seinem Empfänger sicher vor äußeren Einflüssen geschützt ist.
(technisches Problem **Verpacken**)
2. Finde eine Möglichkeit, einen großen Vorrat an Getränken durch die Sahara zu transportieren und dabei möglichst wenig Kraft aufzuwenden.
(technisches Problem **Transportieren**)



Abbildung 14-37: Im Fokusexperiment vorgetragene Folien; Mitte links: Folie „Suchwortart und Beispiel“ für die Kontrollgruppe, Mitte rechts: Folie „Suchwortart und Beispiel“ für die Versuchsgruppe

Abbildung 14-38 zeigt die den Versuchsteilnehmern in gedruckter Form ausgegebenen Definitionen einer Funktion und, im Falle der Versuchsgruppe, einer Eigenschaft und der Umwelt für *BIOscrabble*.

ZOOlution-Definition für Funktion

Eine Funktion ist der lösungsneutrale Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgang eines Systems zur Erfüllung einer Aufgabe beschrieben durch ein Verb.

Beispiele:

- ★ **transfer** power (Kraft **übertragen**)
- ★ **cut** gras (Gras **schneiden**)
- ★ **conduct** electricity (Strom **leiten**)

ZOOlution-Definition für Eigenschaft

Eine Eigenschaft ist ein gefordertes Charakteristikum eines Systems. Sie wird vom Entwickler des Systems festgelegt und bzw. oder ist entscheidend für dessen Zweckmäßigkeit. Funktionen eines technischen Systems zählen nicht zu dessen Eigenschaften.

Beispiele:

- ★ **fast** (schnell)
- ★ **precise** (präzise)
- ★ **robust** (robust)

ZOOlution-Definition für Umwelt

Die Umwelt ist die Umgebung eines Systems. Sie wirkt auf das System ein und beeinflusst dieses. Das System kann mit seiner Umwelt in Wechselwirkung stehen. Die Umwelt kann sowohl physischer als auch abstrakter Natur sein.

Beispiele:

- ★ **water** (Wasser)
- ★ **pressure** (Druck)
- ★ **cold** (Kälte)

Abbildung 14-38: Definitionen von Funktion, Eigenschaft und Umwelt; die Kontrollgruppe erhielt nur die Definition einer Funktion, die Versuchsgruppe alle Definitionen

14.8 Favorisierte Suchworte der Versuchsteilnehmer

Tabelle 14-27 und Tabelle 14-28 zeigen die von Kontroll- und Versuchsgruppe für die technischen Probleme *Verpacken* (Tabelle 14-27) und *Transportieren* (Tabelle 14-28) favorisierten Suchworte der Suchwortarten *Funktion* bzw. *Funktion*, *Eigenschaft* und *Umwelt*.

Tabelle 14-27: Suchworte von Kontrollgruppe und Versuchsgruppe für das technische Problem *Verpacken* inklusive Suchwortart; Gleiche Suchworte innerhalb einer Gruppe sind nur einmal gelistet.

| Gruppe der Versuchsteilnehmer | Suchwort der Suchwortart <i>Funktion</i> | Suchwort der Suchwortart <i>Eigenschaft</i> | Suchwort der Suchwortart <i>Umwelt</i> |
|-------------------------------|--|---|--|
| Kontrollgruppe | cover | | |
| | protect | | |
| | preserve | | |
| | insulate | | |
| | repel | | |
| | cushion | | |
| | encase | | |
| | shroud | | |
| | pack | | |
| | contain | | |
| | wrap | | |
| | coat | | |
| | be stored | | |
| | perfect ⁵³ | | |
| | fill | | |
| | stabilize | | |
| | seal up | | |
| | shield | | |
| | secure | | |
| | absorb | | |
| save | | | |
| recycle | | | |
| isolate | | | |
| encapsulate | | | |
| Versuchsgruppe | cover | secure | loss |
| | protect | transportable | damage |
| | wrap | unbreakable | changing environment |
| | protection | resistant | view |
| | store | robust | humidity |
| | absorb | removable | |
| | insulate | beautiful | |
| | seal | safe | |
| | allow transport | opaquely | |
| | packing | portable | |
| | package | deformable | |
| | dissipate | | |

⁵³ *Pertect* existiert im englischen Sprachgebrauch nicht. Möglicherweise war *protect* gemeint. Um die Versuchsergebnisse nicht zu verfälschen, erfolgte deren Auswertung trotzdem mit *perfect*.

Tabelle 14-28: Suchworte von Kontrollgruppe und Versuchsgruppe für das technische Problem Transportieren inklusive Suchwortart; Gleiche Suchworte innerhalb einer Gruppe sind nur einmal gelistet.

| Gruppe der Versuchsteilnehmer | Suchwort der Suchwortart <i>Funktion</i> | Suchwort der Suchwortart <i>Eigenschaft</i> | Suchwort der Suchwortart <i>Umwelt</i> |
|-------------------------------|--|---|--|
| Kontrollgruppe | carry | | |
| | move | | |
| | ship | | |
| | retain | | |
| | store | | |
| | discharge | | |
| | pull | | |
| | slide | | |
| | transport | | |
| | translocate | | |
| | slip | | |
| | hover | | |
| | drift | | |
| | economize | | |
| | bring | | |
| | flout | | |
| | roll | | |
| | load | | |
| | unload | | |
| | handle | | |
| | be suspended | | |
| | save | | |
| | reduce | | |
| | convert | | |
| absorb | | | |
| slither | | | |
| Versuchsgruppe | evaporate | (water) tight | heat |
| | transport | self-sufficient | liquid |
| | float | force-enhancer | sand |
| | slide | agile | distance |
| | carry | energy-saving | water |
| | pull | long-distant | evaporation |
| | move | easy | |
| | cool | effortless | |
| | cool down | heat-resistant | |
| | | fillable | |
| | | effort-saving | |
| | | adaptable | |
| | | robust | |
| | | efficient | |

14.9 PubMed-Publikationen für die Suchanfragen der Versuchsteilnehmer

Tabelle 14-29 zeigt die ersten 1000 PMIDs der biologischen Publikationen, die aus den Suchanfragen für Kontroll- und Versuchsgruppe für die technischen Probleme Verpacken und Transportieren am 03.10.2015 in PubMed resultierten – die Sortierung der Publikationen in PubMed war Sort by: Relevance. Zu jeder PMID sind die weiteren, für die Auswertung des Fokusexperiments genutzten Publikationsdetails – Autor und Zeitschrift – hinterlegt.

Tabelle 14-29: PMIDs für die Suchanfrage für das technische Problem Verpacken für die Kontrollgruppe

| PMIDs für die Suchanfrage für das technische Problem Verpacken für die Kontrollgruppe |
|---|
| 25558248 25327439 23396880 24821930 26374914 25280954 25379277 25933588 2479081 26090324 24778144 23218707 24576886 25543236 25846767 24426146 25461829 24332638 26020917 24767124 25625133 25774330 256301 18 18926705 26187897 2292931 24405723 24081851 25999772 26306070 25825570 25435736 25895107 24576086 25137368 24022497 25242597 25594972 25457335 24135252 26105133 24704149 26018055 24062940 25319366 25041117 26206748 19863996 24025534 25984474 22533673 25321855 25201572 26210318 24722872 26369497 23765420 24915070 22120292 23262596 24603033 24100190 24680540 26164269 25596922 257575849 25181944 25935750 26209310 25704768 19733356 26051030 25123141 24036575 23553512 26056828 25830166 26100285 26401921 25666842 25931242 24723529 23701717 26051826 23346919 25261456 23375413 25666234 25543454 25685513 26301963 25893843 22673783 20980624 24265304 25035260 25182723 26204077 24773395 25514074 24499059 2417115 26379642 25932023 25201690 26323939 26218649 24454465 25231130 25222907 25173205 26138187 24332242 25148379 24988677 25143986 24174917 25874254 25032238 25861793 24687912 25341317 24739114 26044313 24350803 25885765 25629607 25928099 25186529 26103131 26102904 26102867 23216630 24283940 22656450 24771268 24335629 24150950 25253730 25942704 24955990 22229390 26301805 25747251 25287129 24674801 25280988 25529646 26213030 26041179 252320670 24890308 24804464 24673035 24009478 23646012 23447733 26316847 25678886 25170316 24872784 24526873 24348129 24619437 25833861 25631998 24072788 26372803 26028674 24937149 26360030 25676083 25853367 25611128 26400076 23824573 23680067 25563757 25259170 24652888 25082217 26265336 24401954 26377355 26326601 26326159 25110991 25710761 26106520 25460121 22721639 25926339 25544307 24485554 25523544 26146431 26176935 23528511 25559380 26198163 25851138 24607722 25944926 26363642 26389859 25298356 25174369 25314343 25911210 22633224 25997058 22928664 24025835 25317592 25935979 26353564 23646519 24786597 26062855 26076280 23154822 24703432 25940392 26297423 25078628 25960402 24240682 24320194 24634390 24780374 26055894 23419775 2402231 26131669 26121612 26151208 25398244 26337245 26184295 26003728 26314131 25040683 26228592 26139878 25892818 23904659 25451719 24862451 25254294 25831576 25739360 25684997 24734136 26171076 25941010 22362705 26023991 25600124 23113845 26356212 25847195 26153412 25322301 24306675 25595125 25123353 25335755 26192981 26399370 24657020 25673472 26005557 25141206 25738748 25253420 23707926 25619252 24532510 26349880 22682335 26081135 23478909 25899844 25750056 24068305 25910927 25748885 25412617 24702957 25523532 24746650 24947259 24156961 23517836 25616924 25345452 24836025 25184998 23436696 24418934 25563842 24047449 25378957 23406711 24877852 25129927 25898600 25757300 24788230 26207107 25404711 24144947 26254450 23711331 20331589 26136277 24410689 23868053 25524542 24056481 26384727 25730535 25659572 25659583 24897927 25319230 25744572 25912711 24894593 24705066 23403013 25420573 23444975 25757794 22881702 26048323 24967274 24682798 23663653 26395019 26311165 24599009 25319601 24026341 25531205 23578592 25216538 25795525 25956723 23725010 24460572 25410525 24471702 25215451198 26054859 26173406 242789319 24426281 24440148 25766489 26336780 25037716 23660745 26242748 26084587 24346928 24756871 26245854 24760224 25666924 25679562 25199651 25298362 25634700 26155989 23616306 23864707 25948713 23427292 25524324 26205256 24942012 24331350 24169210 26377400 26330418 26405232 26330419 26033984 24077047 25360244 23682974 25644160 26146962 23904357 24769695 25962918 26001067 25966138 25730058 26125860 24428427 23600674 23116607 23536452 25891225 25375603 25768042 26132211 25489918 2323595027 26341978 24784369 24320489 25262131 26319724 26219364 24742540 26186468 24401945 26191549 25860596 24248331 24271616 25245198 25469734 23892153 25245182 24939614 25244631 25709834 23685967 24307712 21270312 20581282 24953537 23113576 25940919 25602843 26021903 23706811 25112050 23527425 26336844 24695585 25119983 25405628 2665035 24663506 26331475 23457468 25010134 25923327 25830303 23940805 24763366 25436454 23951287 23262399 26024489 26106897 26196505 23894654 26148066 24892281 25923712 25856241 25789485 25692604 26262881 26080008 24147033 25350108 25295757 26332470 25893250 26267857 25915926 23319554 24162142 25108937 43245615 25086615 25298672 25749279 25712272 26079718 24474628 25794936 22804845 25846401 26306278 23966344 25559092 25728937 25345850 25204435 25158677 25178421 26050809 25148673 21056779 24387847 25481062 26167826 25280939 25702111 26138988 26177219 26032122 23703826 24763677 25796596 25166505 23174243 25245081 23323033 23901321 25227054 25363603 26279070 24331555 21247098 22428683 26102246 23259686 25549919 253013962 24136255 26315329 24823359 26234858 25912107 25965626 25017907 26369354 25723650 25846666 25814348 25016621 26208069 25651688 25893222 249828470 25648654 24688848 26020009 25802811 26051572 26056720 23236263 24698702 26099836 25917071 25332108 25480273 26305838 24118745 25737921 25228800 25161345 24847869 25436252 25513020 2574904298 23623338 25232190 26123903 26084081 25960832 24621043 24149214 25676149 23946609 25903522 24035813 23777220 26350603 26094918 24773789 26238831 26238829 24617764 25879492 25870606 24752639 26063543 23567209 23585611 24887522 3432561 25437485 25600786 24849804 25988004 23725691 23436842 25788297 24612397 26150968 26120594 26254940 25613153 26085177 23392984 26123340 23052526 25727274 25296670 25992507 25196113 25557432 256665110 25944641 22710508 24729142 23608649 26056342 25135185 24205533 25148135 25139422 23085290 21983145 24797733 24332193 25479814 25775111 26147774 24286134 25449224 25325990 24345554 24912367 24491497 25628625 24274240 0 23631704 23116383 25947162 25535338 24706824 26215155 24610454 24297865 227111737 26082641 24321636 24018136 244992456 26150281 26177491 25904034 25893314 25432319 23805757 25061407 25488535 25818008 20969447 26055912 25883029 25009978 25234511 26013992 25152977 26290621 26088802 26351004 26358557 24771254 25537087 26295361 25138201 23472656 26386787 23137495 26237642 26237638 24299446 25275961 26151459 25216940 26237640 25136904 26266653 25741908 23865582 23570302 25966847 24265195 26335824 23958608 23551347 25654779 25191098 26347534 26206737 26297310 25476144 25119391 25724475 25511918 23808909 25253702 26025573 23232938 25694042 25439378 25017527 22172499 25959582 24436828 25101590 25809367 25713896 25100283 24211390 26395154 23926123 25104325 24847379 26126844 22447945 25409117 22903175 23978448 26325654 25618049 24993190 25837805 26113460 26058980 24831012 24947508 25737449 25762815 25608582 24571101 23909508 26053689 26389703 26196181 25562399 25545968 24830494 25631087 24600011 26269173 23725615 25957458 25741518 26440541 24689150 26228297 25499833 24647105 22130182 26196758 25354760 24291783 24769555 26342471 24572936 24469426 23999210 25680225 25982921 25169592 25136885 23628499 24769420 24835848 25217878 26263453 26272583 25483555 26023211 25570740 25879459 26084226 25318679 26198058 24633789 25969287 25321839 26072748 24414570 25138041 26240388 26187959 26268623 24862485 25117085 25917265 25730110 25654189 24203291 26405732 25370490 25885286 25657529 21185914 25516705 23383708 24933969 26198848 24947003 25096979 24028844 26120570 25879637 25635503 24630648 25892687 24835964 24239082 26026752 24624764 25038407 25528692 24126243 22692047 25491734 24368435 24983331 25300934 25332107 24338994 26231196 23845799 25979794 25882276 26296813 24268044 25582061 26104806 25735760 25086481 23787035 25288926 19864274 25013295 25931688 26184115 25640306 25083013 255669180 26184895 23541498 25582391 26298483 26022300 23276684 26132726 23517756 26252742 25142352 26012512 25643865 26096915 24121136 24570689 25150720 25429097 22791144 25439322 25512368 24602819 25167775 25725529 25608805 25194435 25085481 24631152 24315936 23265819 26051496 26087320 19766293 26117500 25010945 25461078 24914533 24880551 24268338 26282774 24239817 19773017 25460957 24694938 24607288 26089511 26160949 26206920 24457998 22915776 26305561 25412428 26341943 25694158 26345109 25510441 26011192 26010906 22514149 26154301 26386235 24909303 25145214 23495673 26100975 25958382 25236611 25407599 24090125 259609221 26311915 26314045 23999593 24337896 25355073 23841874 25230593 26194376 22907891 21802148 24524201 25730190 23926679 26095354 25988568 2124584 23869602 25677807 25156572 24673482 24666393 25530172 26205387 25242028 25093563 25936552 24320228 24989079 23418861 25392961 25662789 21258804 25822542 26002211 25809618 26225501 2126395105 24320901 25491155 25339596 24561722 24064919 25274275 24387936 26130505 25792417 26255734 26147591 22652282 24018215 23742730 25387539 25260370 26236623 25124990 26050066 24310365 25604665 25117949 26373304 26228619 25763922 25469715 24480086 23707645 25625673 25511301 26159386 25597265 25676178 26232610 24874951 24704081 24887360 25132366 24561041 259444945 26584653 25947637 |

14.10 Beispielvisualisierung von PubMed-Zeitschriftenclustern

Abbildung 14-40 zeigt einen Screenshot der mittels *Soley Studio* (*Soley GmbH o. J.*) realisierten Visualisierung der in Kapitel 7 diskutierten Zeitschriftencluster.

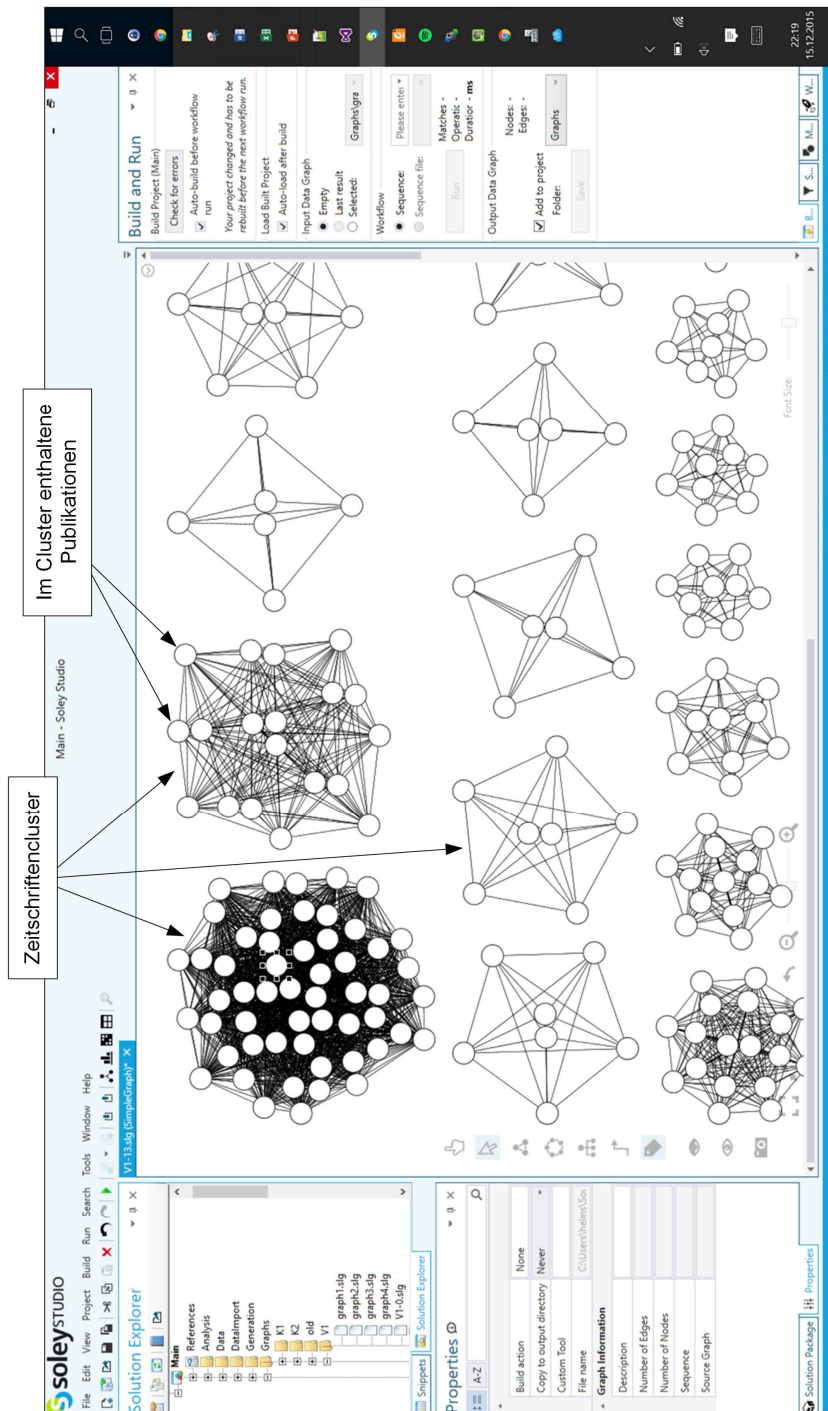


Abbildung 14-40: Beispielhafte Visualisierung von nach Zeitschriften geclusterten PubMed-Publikationen

15. Glossar

Biologische Publikation

Für *BIOscrabble* ist eine biologische Publikation eine wissenschaftliche Publikation aus dem Bereich der Biowissenschaften, dem Gesundheitswesen, den Verhaltenswissenschaften, der Chemie oder der Biotechnologie.

Bionik

Bionik wird in dieser Arbeit verstanden als „kreatives Übertragen von Wissen und Anregungen aus der Biologie in die Technik, das heißt eine durch die Natur angeregte technische Entwicklung, die in Bezug auf den biologischen Ausgangspunkt in der Regel über mehrere Abstraktions- und Modifikationsschritte abläuft.“ (VDI 2012, S. 10)

BIOscrabble

BIOscrabble ist der initiale Lösungsansatz dieser Arbeit und der Hauptbeitrag der Arbeit in initialer Form.

BIOscrabble Reloaded

BIOscrabble Reloaded ist der erweiterte Lösungsansatz dieser Arbeit und der Hauptbeitrag der Arbeit in verbesserter Form.

Durchgesehene biologische Publikation

In dieser Arbeit gilt eine Publikation als durchgesehen, wenn mindestens ihr Titel, im Idealfall Titel und *Abstract* gelesen wurden.

^EAnwender

^EAnwender bedeutet Einheit Anwender. Im Rahmen der Auswertung des Studienmaterials dieser Arbeit wurden die Kommentare von fünf Anwendern von *BIOscrabble* (einem Studierenden des Maschinenwesens und einem Viererteam aus Studierenden des Maschinenwesens und der Biologie) zu *BIOscrabble* untersucht. Diese wurden zwei schriftlichen Dokumentationen (eine Einzelstudienarbeit und eine Teamprojektdokumentation) entnommen, was zur Betrachtung von zwei ^EAnwendern führte.

^ES^EA

In dieser Arbeit werden ^EStudienteilnehmer und ^EAnwender unter ^ES^EA zusammengefasst.

^EStudienteilnehmer

^EStudienteilnehmer bedeutet Einheit Studienteilnehmer. An der Studie dieser Arbeit nahmen 14 Studienteilnehmer teil, davon arbeiteten fünf Studienteilnehmer in einem Zweier- bzw. einem Dreier-team. Insgesamt wurden elf schriftliche Dokumentationen (Studienarbeiten) abgegeben (neun Einzeldokumentationen und zwei Teamdokumentationen). Diese waren das in der Studie untersuchte Material der Studienteilnehmer und führten zur Betrachtung von elf ^EStudienteilnehmern.

Generierte Suchworte

In dieser Arbeit sind generierte Suchworte Suchworte, die in mindestens einer der zur Suche nach biologischen Lösungen genutzten Suchanfragen enthalten sind.

Nützliche Suchworte, Suchwortvariationen, Suchwortarten, Suchwortkombinationen, Publikationen oder Vorgehensweisen

Suchworte, Suchwortvariationen, Suchwortarten, Suchwortkombinationen, Publikationen oder Vorgehensweisen, die ein biologisches System ergaben, das zu einer bionischen Lösungsidee geführt oder beigetragen hat, werden in dieser Arbeit als nützlich bezeichnet.

SHHnyme

Da eine Unterscheidung der Suchwortvariationen Synonyme, Hyponyme und Hyperonyme für die Studie dieser Arbeit irrelevant ist, werden diese Suchwortvariationen unter SHHnyme zusammengefasst.

Studienergebnisse

Ist in dieser Arbeit von Ergebnissen der Studie die Rede, schließt dies die Kommentare der ^EAnwender ein.

Suchwortart *Eigenschaft*

Für *BIOscrabble* ist eine Eigenschaft ein gefordertes Charakteristikum eines Systems. Sie wird vom Entwickler des Systems festgelegt und bzw. oder ist entscheidend für dessen Zweckmäßigkeit. Funktionen eines technischen Systems zählen nicht zu dessen Eigenschaften. Beispiele für Eigenschaften sind leicht, hitzebeständig oder schnell.

Suchwortart *Funktion*

Für *BIOscrabble* ist eine Funktion der lösungsneutrale Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgang eines Systems zur Erfüllung einer Aufgabe beschrieben durch ein Verb. Beispiele für Funktionen sind schützen, übertragen oder halten.

Suchwortart *Umwelt*

Für *BIOscrabble* ist die Umwelt die Umgebung eines Systems. Sie wirkt auf das System ein und beeinflusst dieses. Das System kann mit seiner Umwelt in Wechselwirkung stehen. Die Umwelt kann sowohl physischer als auch abstrakter Natur sein. Beispiele für die physische Umwelt eines Systems sind Wasser, Schmutz oder angrenzende Bauteile, Beispiele für die abstrakte Umwelt eines Systems sind Hitze, Druck oder Reibung.

Untersuchte biologische Publikation

In dieser Arbeit gilt eine Publikation als untersucht, wenn mindestens der *Abstract*, im Idealfall die ganze Publikation gelesen wurde.

Wortstammbasierte Variation

Eine *Wortstammbasierte Variation* ist in dieser Arbeit eine Suchwortvariation, wozu auch Synonyme, Hyponyme, Hyperonyme und Antonyme gehören. Für *BIOscrabble* ist eine *Wortstammbasierte Variation* die Variation eines Suchwortes ausgehend von dessen Wortstamm.

Der Fokus liegt auf der Bildung von möglichen Substantiven, Verben und Adjektiven des Suchwortes. Ein Beispiel ist das Generieren des Substantivs Bewegung und des Adjektivs beweglich aus dem Verb bewegen.