

Antrag zur Anschubfinanzierung für das Projekt INVerz – Fördermaßnahme VIP+

INVerz

INäquidistante Verzahnung zur Geräuschminderung von Getrieben

Projektidee

Die Produktinnovation umfasst eine neuartige Verzahnungsgeometrie, die das Geräusch von Zahnradgetrieben erheblich mindern kann – die *inäquidistante Verzahnung*. Bei diesem innovativen Ansatz werden in die Verzahnung eines Zahnradpaares gezielt Unregelmäßigkeiten eingebracht, was die Geräuschminderung bewirkt. Ein Ausführungsbeispiel mit unregelmäßigen Zahnabständen und Zahndicken ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Ausführung einer inäquidistanten Verzahnung mit unregelmäßigen Zahnabständen und Zahndicken

Die optimale Auslegung der Verzahnung ist abhängig von dem jeweiligen Anwendungsgebiet, der Einbausituation und den Betriebszuständen, ist daher individuell zu bestimmen. Neben dem gängigen Anwendungsgebiet von inäquidistanten Zahnradern in der Getriebetechnik, werden ebenfalls Anwendungsgebiete, wie beispielsweise bei Zahnradpumpen zur Verringerung von Fluidpulsationen in Betracht gezogen. Die Produktinnovation ist folglich eine gezielte und umfassende Geräuschoptimierung für beliebige Zahnradanwendungen durch die *inäquidistante Verzahnung*.

Eine Patentanmeldung der Technologie wird mit Hilfe des Dezernat VI für Forschung und Transfer der TU Darmstadt zeitnah erfolgen. Dieses Vorhaben ist nach bisherigen Recherchen einzigartig. In Übereinstimmung mit dem Ziel der Bundesregierung zur Reduktion von Lärm am Arbeitsplatz¹ und dem Trend der komfortorientierten Produktentwicklung² ist das Vorhaben absolut zukunftsorientiert.

Auch in Gesprächen mit der Volkswagen AG, der LuK GmbH und der Bosch Rexroth AG zeigte sich ein außerordentlich hohes Interesse an der Produktinnovation. Die Unternehmen bekundeten unabhängig voneinander ihr Interesse am Einsatz der inäquidistanten Verzahnung in deren Produkten, um steigenden Kundenanforderungen nachzukommen und Kundenbeanstandungen vorzubeugen. Die genannten Unternehmen haben sich bereit erklärt ihr Interesse schriftlich zu bekunden, um so den geplanten VIP+ Antrag zu unterstützen.³

Produktinnovation

Auf Basis der Gespräche mit den Industrieunternehmen und durch eigene Recherchen konnten bereits zahlreiche Anwendungsgebiete für die innovative inäquidistante Verzahnung gefunden werden. So sind praktisch sämtliche Mensch-Maschine-Schnittstellen relevant, bei denen die Maschine über ein Zahn-

¹ <http://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/a223-laerm.html> (Zugriff am 21.02.2016).

² Engelbrecht (2013): *Fahrkomfort und Fahrspaß bei Einsatz von Fahrerassistenzsystemen*, Hamburg.

³ Die schriftliche Interessenbekundung wird bei der Beantragung eines VIP+-Antrags empfohlen und erhöht die Bewilligungschance.

radgetriebe verfügt. Als größter Markt wird aktuell die Elektromobilität gesehen, bei der aufgrund geräuscharmer Elektroantriebe das Getriebegeräusch die akustische Schwachstelle darstellt. Zusätzlich ist auch der wachsende Markt der Robotik ein potenzielles Anwendungsgebiet. Hier erzeugen über Zahnradgetriebe angebundene Hochdrehzahl-Elektromotoren die Bewegungen von Industrie- und Haushaltsrobotern. Weiterhin wird insbesondere in den Produktbereichen von Haushaltsgeräten („weiße Ware“), Medizinprodukten (Treppenlifte, elektrische Rollstühle, ...) und Zahnradpumpen hohes Anwendungspotential gesehen.

Der „proof of principle“ für die inäquidistante Verzahnung konnte im Rahmen der Grundlagenforschung bereits erbracht werden⁴. Jedoch müssen bis zur Anwendung und wirtschaftlichen Verwertung der inäquidistanten Verzahnung noch bestehenden Risiken minimiert werden. Risiken werden derzeit vor allem bei der Fertigbarkeit, der Betriebsfestigkeit, dem Verschleiß- und Korrosionsverhalten sowie dem tatsächlichen akustischen Potenzial im praktischen Einsatz der Produkte gesehen. Diese Risiken gilt es im Rahmen einer Validierung zu untersuchen und zu minimieren.

Das Förderformat VIP+ („Validierung des technologischen und gesellschaftlichen Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung“) setzt genau hier an und schließt die Lücke zwischen der wissenschaftlichen Grundlagenforschung und der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Anwendung und Verwertung. VIP+ unterstützt dabei das Innovationspotenzial der bisherigen Forschungsergebnisse zu prüfen, nachzuweisen und zu bewerten sowie mögliche Anwendungsbereiche zu erschließen. Das Förderformat zielt schließlich darauf ab, das noch schwer abzuschätzende Risiko für die spätere Anwendung und Verwertung zu verringern, so dass nach erfolgreicher Validierung Industrieunternehmen eine finanzielle Beteiligung aufgrund des verminderten Risikos anstreben. Mit VIP+ werden Validierungsvorhaben von bis zu drei Jahren mit einer Fördersumme von bis zu 1,5 Mio. Euro gefördert.

Kooperation

In direkter Kooperation des Fachgebiets Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM mit dem Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen PTW⁵ sowie weiteren sekundären Projektpartnern, wie dem Fraunhofer LBF und dem Zentrum für Konstruktionswerkstoffe IfW/MPA, soll entlang der Wertschöpfungskette *neuartige Materialien – Prozess – Produktinnovation* eine erfolgreiche Validierung der Produktinnovation erfolgen.

Hierzu muss zunächst die virtuelle Auslegung und Konstruktion der inäquidistanten Verzahnung für verschiedene Produkttypen und Anwendungsgebiete validiert werden. Durch Rapid Prototyping mittels 3D-Druck konnten am Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM bereits erste Zahnrad-Demonstratoren auf einem eigens dafür angefertigtem Getriebeprüfstand getestet und somit erste Ergebnisse für den Funktionsnachweis der geräuscharmen Verzahnung erfolgreich erzeugt werden. Darauf aufbauend soll ein Prozess zur gezielten Auslegung und Konstruktion geräuscharmer Zahnräder für verschiedene Anwendungsgebiete wie beispielsweise Pkw-Getriebe, Antriebe für Robotik und Zahnradpumpen erarbeitet werden.

Maßgebliche Relevanz für eine erfolgreiche Validierung der Produktinnovation hat ebenso die Auswahl, Prüfung und Bewertung möglicher Fertigungsverfahren durch das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen PTW. Durch die geometrischen Veränderungen an der Zahngeometrie bei der inäquidistanten Verzahnung, können konventionelle Fertigungsverfahren eventuell

⁴ Neubauer, P.; Bös, J.; Melz, T. (2016): *Inäquidistante Verzahnung zur Verringerung der Lästigkeit von Zahneingriffsgeräuschen*. In: DAGA 2016 – 42. Jahrestagung für Akustik, 14.–17. März 2016, Aachen, Paper ID 000489.

⁵ Zur erfolgreichen Antragsstellung VIP+ wird vom Dezernat VI für Forschung und Transfer empfohlen nur einen direkten Projektpartner zu integrieren. Es können jedoch Unteraufträge vergeben werden.

nicht mehr verwendet werden. Daher sollen insbesondere neue Fertigungsverfahren, wie die additive Fertigung auf Basis verschiedener Materialien (Stahl, Keramik, Kunststoffe) mit einbezogen werden. Auch konventionelle Fertigungsverfahren (spanend, umformend und urformend) für Zahnräder sollen in Kombination mit neuen Materialien in Betracht gezogen werden. Um die konstruktiven Änderungen der Zahngeometrie, insbesondere in Bezug auf die Betriebsfestigkeit und die Widerstandsfähigkeit unter tribologisch/korrosiver Belastung für die genannten Anwendungsgebiete zu validieren, sollen Prüfungen am Fraunhofer LBF sowie am Zentrum für Konstruktionswerkstoffe durchgeführt werden.

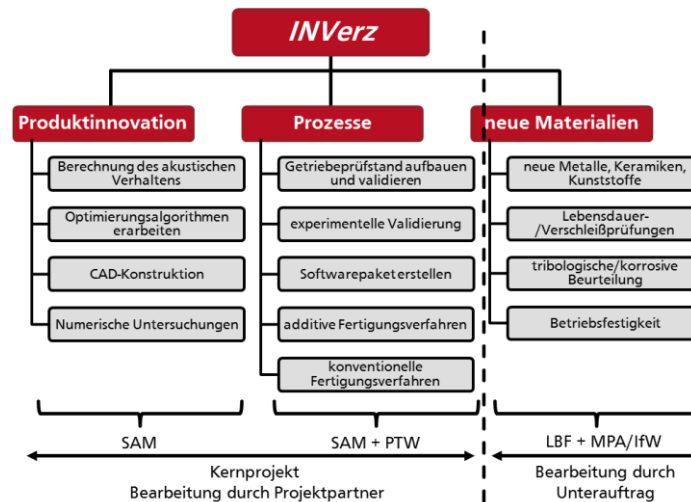


Abbildung 2: Projektstrukturplan des VIP+ Forschungsantrages mit den Kooperationspartnern

Der Projektantrag für VIP+ wird maßgeblich durch Frau Dr.-Ing. Elena Maja Slomski verfasst. Seitens des Fachgebiets SAM wird zudem Herr M.Sc. Philipp Neubauer bei den akustischen und konstruktiven Inhalten unterstützen. Herr M.Sc. Michael Kniepkamp unterstützt seitens des Instituts PTW die Antragstellung in Bezug auf die Fertigungsverfahren.

Das Gesamtziel des Projektes INVerz ist es, mit der Produktinnovation der inäquidistanten Verzahnung unter Berücksichtigung von Fertigungs-, Festigkeits-, Verschleiß- und akustischen Aspekten im Rahmen der dreijährigen Förderperiode des Förderformates VIP+ den Technologie-Reifegrad TRL 6⁶ zu erreichen.

Kostenaufstellung

Für Vorversuche und Verfassen des Forschungsantrages für das Förderformat VIP+ sowie das Aufbereiten von Forschungsergebnissen und der Abstimmung mit Projekt- und Industriepartnern wird ein Zeitraum von drei Monaten veranschlagt. Die detaillierte Kostenaufstellung der Anschubfinanzierung ist in untenstehender Tabelle dargestellt.

Bezeichnung	Anzahl	Einzelkosten	Gesamtkosten
Personalmittel			
WiMi E14 zu 70 % für 3 Monate (SAM, Dr.-Ing. Elena Maja Slomski)	3	4.813,79 €	14.441,36 €
WiMi E13 zu 30 % für 2 Monate (SAM, M.Sc. Philipp Neubauer)	2	1.633,56 €	3.267,12 €
WiMi E13 zu 30 % für 3 Monate (PTW, M.Sc. Michael Kniepkamp)	1	1.633,56 €	1.633,56 €
Sachmittel			
Betrieb, Wartung und Instandhaltung Getriebeprüfstand	1	500,00 €	500,00 €
3D-Druck von Zahnrad-Demonstratoren	1	150,00 €	150,00 €
Softwarelizenzen	1	300,00 €	300,00 €
Reisemittel			
Akquisebesuche zum Einholen von Interessenbekundungen	2	200,00 €	400,00 €
Summe			20.692,04 €

⁶ „Technology Readiness Level“, Bewertungsschema zur Beurteilung des Reifegrades von neuen Technologien

Wissenschaftlicher Werdegang

Dr.-Ing. Elena Maja Slomski

geboren am 26.06.1983 in Wiesbaden

Tabellarischer Lebenslauf

2002–2009	Studium des Fachs Wirtschaftsingenieurwesen Fachrichtung Maschinenbau an der Technischen Universität Darmstadt, Abschluss: Diplom-Wirtschaftsingenieur (Dipl.-Wirtsch.-Ing.)
2009–2013	wissenschaftliche Mitarbeiterin am Zentrum für Konstruktionswerkstoffe (MPA/IfW) Darmstadt
2013	Promotion zum Dr.-Ing. am Fachbereich Maschinenbau der Technischen Universität Darmstadt, Titel der Dissertation: „Funktionsorientierte Mikrostrukturierung von Chromnitrid-Dünnschichten mittels hybrider PVD-Technologie“
2014–2015	Nachwuchsführungskraft im Junior Management Programm, Bereich Forschung und Entwicklung bei der Robert Bosch GmbH
seit 2015	Projektkoordinatorin Forschung und Industrie an der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM

Professionelle Aktivitäten

seit 2016	Wiederaufbau der Vorlesung „Zuverlässigkeit im Maschinenbau“ im Fachbereich Maschinenbau an der Technischen Universität Darmstadt
2011–2013	Betreuung der Lehrveranstaltungen „Oberflächentechnik 1“ und „Oberflächentechnik 2“ am Zentrum für Konstruktionswerkstoffe (MPA/IfW) Darmstadt
2009–2013	Einführung von Projektmanagement-Standards am Zentrum für Konstruktionswerkstoffe (MPA/IfW) Darmstadt

Mitgliedschaften

- VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
- Freunde des Zentrums für Konstruktionswerkstoffe e.V.

Forschungsgebiete

- PVD-Beschichtungstechnik, Mikrostrukturierung und Funktionalisierung dünnster Schichten und Schichtsysteme
- Oberflächentechnik, Tribologie und Korrosion
- Zuverlässigkeit und Systemzuverlässigkeit im Maschinebau
- Nutzung und Optimierung der stochastischen Simulationstechnik zur Bewertung der Sensitivität und Systemzuverlässigkeit adaptronischer Balkenstrukturen

Auszeichnungen und Ehrungen

- IfW Award 2014 für die herausragende Leistung bei der Erstellung einer Doktorarbeit unter den Gesichtspunkten wissenschaftliche Ausführung, kognitive Fähigkeiten, Präsentation und Arbeitsweise

Publikationsliste

1. Slomski, E. M.; Scheerer, H.; Berger, C.: *Einfluss der PVD-Prozessparameter auf die Schichtnukleation und Struktur von CrN-Schichten*. In: *Materialwissenschaften und Werkstofftechnik*, 41/3 (2010) 161–165.
2. Slomski, E. M.; Scheerer, H.; Troßmann, T.; Berger, C.: *Einfluss der HiPIMS-Parameter beim PVD-Verfahren*. In: *Vakuum in Forschung und Praxis*, 22/4 (2010) 22–25.
3. Scheerer, H.; Slomski, E. M.; Troßmann, T., Berger, C.: *Characterization of CrN coatings concerning the Potencial to cover surface imperfections*. In: *Surface & Coatings Technology*, 205/1 (2010) 47–50.
4. Fischer, S.; Herbert, S.; Sielaff, A.; Slomski, E. M.; Stephan, P.; Oechsner, M.: *Experimental Investigation of Nucleate Boiling on a Thermal Capacitive Heater Under Variable Gravity Conditions*. In: *Microgravity Science and Technology*, 24/3 (2011) 139–146.
5. Slomski, E. M.: *Einführung von Projektmanagement-Standards im Maschinenbau: Individuelle Anpassung für die werkstofftechnische Forschung und Materialprüfung*. Diplomica-Verlag, Hamburg, 2011.
6. Fischer, S.; Slomski, E. M.; Stephan, P.; Oechsner, M.: *Enhancement of nucleate boiling heat transfer by micro-structured chromium nitride surfaces*. In: *Journal of Physics: Conference Series*, 395 (2012) 012128.
7. Slomski, E. M.; Fischer, S.; Scheerer, H.; Oechsner, M.; Stephan, P.: *Textured CrN Thin Coatings Enhancing Heat Transfer in Nucleate Boiling Processes*. In: *Surface and Coatings Technology*, 215 (2013) 465–471.
8. Slomski, E. M.: *Funktionsorientierte Mikrostrukturierung von Chromnitrid-Dünnschichten mittels hybrider PVD-Technologie*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Shaker Verlag, 2013.
9. Li, S.; Ochs, S.; Slomski, E.; Melz, T.: *Anwendung stochastischer Simulationstechniken an smarten Systemen mit reduziertem Simulationsaufwand*. In: 4SMARTS – Symposium für Smarte Strukturen und Systeme, 6.–7. April 2016, Darmstadt. Paper ID 20.
10. Li, S.; Ochs, S.; Slomski, E.; Melz, T.: *Design of control concepts for a smart beam structure with sensitivity analysis of the system*. In: *Smart Structures and Materials: Proceedings of the 7th ECCOMAS Thematic Conference*, Springer-Verlag, 2016, akzeptiert zur Veröffentlichung, Paper ID 11.