

KURZVERÖFFENTLICHUNG

Garne mit reversibel aktiv und passiv einstellbaren Reflexionseigenschaften durch Zwirn- und Umwindetechnologie

Autoren: Viola Finckh
Bastian Baesch
Christoph Riethmüller
Prof. Dr.-Ing. Götz T. Gresser

Forschungsstelle: DITF – Textil- und Verfahrenstechnik
Erschienen: 14.05.2025
Bearbeitungszeitraum: 01.05.2023 - 30.04.2025

Zusammenfassung

Die einstrahlende mittlere solare Globalstrahlung (Sonneneinstrahlung), die auf deutsche Wohnfenster wirkt, beträgt ca. 450 Mrd. kWh/a (berechnet aus ^{i,ii,iii,iv}). Wird durch die Projektergebnisse nur ein Bruchteil der o. g. Sonneneinstrahlung auf Wohnfenster energetisch sinnvoller genutzt, ist ein erhebliches Energieeinsparpotenzial durch eine gezielte Absorption oder Reflexion des Sonnenlichts gegeben. Dadurch kann der Innenraum passiv gezielt aufgeheizt und abgekühlt werden. Um dieses Energieeinsparpotenzial zu erschließen, bieten **Garne mit reversibel aktiv und passiv einstellbaren Reflexionseigenschaften (GAP-Reflect-Garne)** ein großes Potenzial. Durch die Zwirn- und Umwindetechnologie lassen sich Garne herstellen, die aus mehreren Farbkomponenten bestehen. Durch eine Längenänderung durch z. B. Zug oder Erwärmung kann die Struktur der Garne so geometrisch verändert werden, dass stark unterschiedliche Reflexionseigenschaften entstehen. Dies kann für innenliegende Sonnenschutztextilien genutzt werden. Eine Prinzipskizze hierfür ist links in Abbildung 1 dargestellt. Die Garne weisen je nach eingestellter Geometrie einen niedrigen oder hohen Absorptionsgrad auf um die Sonneneinstrahlung zu absorbieren oder zu reflektieren. Dies kann dazu genutzt werden den Innenraum passiv zu erwärmen oder zu kühlen. Die Reflexions- bzw. Absorptionseigenschaften können je nach Aufbau des Garns zudem richtungsabhängig sein (rechts in Abbildung 1), was für die beschriebene Anwendung vorteilhaft genutzt werden kann.

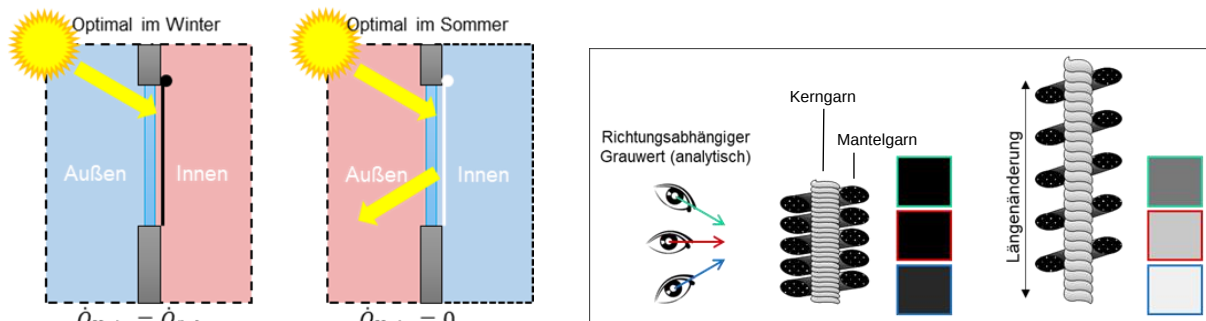


Abbildung 1: links: Anwendungsszenario 1: Innenliegender Sonnenschutz; rechts: Prinzipskizze - Änderung der Sichtbarkeit des Kerngarns durch die Umwindung

Ein weiteres Anwendungsszenario ist der Einsatz der Garne in Elektroautomobilen. Die Reichweite eines E-Autos wird durch die Heizung und Klimatisierung im Kurzstreckenbetrieb bis Faktor 2, im Langstreckenbetrieb um bis zu 15 % reduziert ^[V]. Bisherige Lösungen wie das Vorheizen, Kühlen oder das Parken in einer Garage benötigen Energie bzw. Platz ^[VI]. Die GAP-Reflect-Garne können im Interieur des Automobils z.B. als Sonnenschutz bei Panoramadächern ihren Platz finden.

Das Einbringen der Längenänderung kann durch Nutzung von gedrehten Garnen mit extremer thermischer Längenänderung, bspw. wie in ^[vii] beschrieben, ausgeführt werden. Solche Garne werden als „künstliche Muskeln, auch AMYs (Artificial Muscle Yarn) bezeichnet. Bei Wärmeeinwirkung verkürzen sie sich erheblich. Es handelt sich um Monofilamente, die so stark hochgedreht werden, dass sie neben der herkömmlichen Drehung eine Windung in Form einer Helix erhalten. Durch eine anschließende thermische Fixierung der AMYs werden die Windungen vor dem weiteren Einsatz fixiert, so dass sie unter Gewichtsbelastung und Temperaturbeaufschlagung erhalten bleiben. Die AMYs zeigen eine hohe Dehnbarkeit.

Der genaue Einsatz bestimmt, welche speziellen Reflexionseigenschaften die innen- und die außenliegenden Garnkomponenten aufweisen müssen. Bei der Entwicklung der Garne wurden im Projekt folgende Prinzipien verfolgt:

- Passive Änderung der Länge / Reflexionseigenschaften durch Längenänderung, z. B. durch Zug von außen (Motor und/oder Gewichte)
- Adaptive Änderung der Länge / Reflexionseigenschaften durch Einbringen von Wärme, z. B. durch Sonneneinstrahlung
- Aktive Änderung der Länge / Reflexionseigenschaften durch das Anlegen einer elektrischen Spannung, z. B. an einem Feinstdraht, der das AMY umwindet

Die adaptive und aktive Längenänderung wurde im Projekt mit AMYs realisiert und auch die passive Änderung lässt sich mit AMYs realisieren. Die Herstellung von AMYs (textilen Muskeln aus Monofilamenten) erfolgt in der Literatur bisweilen mit diskontinuierlichen Verfahren, wie z. B. einer Bohrmaschine durch Einspannen und Hochdrehen des Monofilaments. ^[viii ix x xi] Die DITF haben in diesem Projekt ein Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von AMYs mit einer angepassten JBF 4-Duo Umwindmaschine entwickelt. Bisher lassen sich damit jetzt Garnstücke bis zu wenigen 100 Metern Länge maschinell herstellen. Im Projekt wurden verschiedene Materialien für die drei verschiedenen Prinzipien untersucht, AMY- und Gap-Reflect-Garne entwickelt und hergestellt sowie daraus mit verschiedenen textilen Flächenbildungsverfahren Funktionsmuster und Demonstratoren geschaffen.

Die Vorteile gegenüber Garnen mit veränderlichen Farbstoffen sind geringere Kosten des Materials und der Herstellung. Aufgrund der Herstellbarkeit aus sehr vielen Materialien sind eine hohe Lichtechtheit und UV-Stabilität auch beim Einsatz im Bereich Sonnenschutz erzielbar, was mit anderen elastischen Materialien nicht der Fall ist. Die Erzeugung einer Richtungsabhängigkeit ist möglich und bei geeigneter Integration in ein Sonnenschutzsystem wird keine Energie zum Halten des Zustands benötigt. Die AMYs können prinzipiell aus allen Monofilament-Materialien hergestellt werden, dies ermöglicht prinzipiell auch sortenreine hochelastische Textilien.

Ergebnisse

Durch die neu entwickelte kontinuierliche Herstellung der textilen Muskeln erhöht sich beispielsweise bei einem PA 6.6-Monofilament mit 0,28 mm Durchmesser die Produktionsgeschwindigkeit um etwa 760 % im Vergleich zu der diskontinuierlichen Produktion mit der Bohrmaschine. Rechnet man die Rüstzeiten mit ein, liegt diese Zahl noch wesentlich höher, da immer nur relativ kurze Stücke diskontinuierlich hergestellt werden können. Das Monofilament springt bei der Herstellung zum textilen Muskel auf ca. 15-20 % seiner ursprünglichen Länge ein. Im Projekt konnten AMYs hergestellt werden, die nach der Fixierung mit auf das Material abgestimmter Fixiertemperatur und -dauer ca. 125 % Dehnung besitzen und so als Grundlage für die Gap-Reflect-Garne dienen können. Durch Erhöhen der Garntemperatur wird eine Verkürzung der unter Belastung (Zug, Gewicht) stehenden AMY-Garne erzielt, die, von Zimmertemperatur (23°C) aufwärts gerechnet bis zu 35 % betragen kann. Die textilen Muskeln wurden mit Monofilamenten umwunden, die einen möglichst abweichenden Reflexionswert (z.B. innen schwarz und außen weiß) aufweisen. Das Prinzip von Gap-Reflect-Garnen unter der Nutzung von AMYs ist in Abbildung 2 abgebildet. Für das aktive Prinzip wurden die AMYs zuerst mit Feinstdraht umwunden.



Abbildung 2: Prinzipskizze für ein Gap-Reflect-Garn mit AMYs und eine umgesetzte Variante

Die entwickelten AMYs und GAP-Reflect-Garne wurden teilweise bei Projektpartnern in der Industrie verstrickt, verwebt und verwirkt. Die Verarbeitung der Garne an der Wirkmaschine im Technikum der DITF zeigt Abbildung 3.



Abbildung 3: Integration von AMYs und Gap-Reflect-Garnen in Wirkware als Schussfaden

Die Garne und daraus hergestellte textile Flächen wurden mit mehreren Messverfahren auf ihre lichttechnischen Reflexionseigenschaften untersucht. Dies erfolgte unter anderem im gespannten und im lockeren Zustand als BSDF-Messungen (BSDF aus dem Englischen: bi-directional scattering distribution function) mit einer Imaging Sphere. Dabei wurde die Verteilung des reflektierten Lichts in den Halbraum in Abhängigkeit des Einstrahlwinkels und der Dehnung der textilen Flächen erfasst. Im

Folgenden ist die Verteilung des reflektierten Lichts der Probe V12 bei einem Einstrahlwinkel ϱ von 60° für die lockere und gespannte Probe gegenübergestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass die Reflexion der Probe durch das Spannen bei diesem Einstrahlwinkel insbesondere in den Außenbereichen deutlich abnimmt.

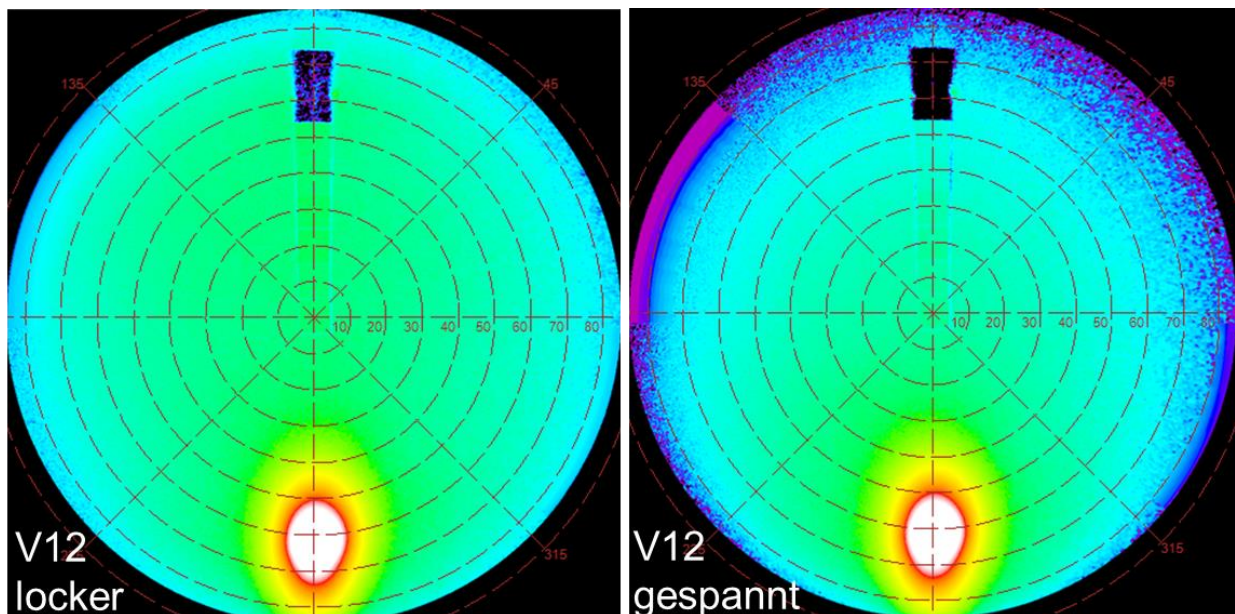


Abbildung 4: Messergebnis der hemisphärischen Verteilung des reflektierten Lichts der lockeren (links) und gespannten Probe (rechts), jeweils bei einem Einstrahlwinkel, ϱ von 60°

Trägt man die hemisphärische Rückreflexion der Proben in Abhängigkeit des Einfallswinkels des Lichts $R_{\varrho h}$ in einem Diagramm auf (Abbildung 5), so ist erkennbar, dass durch die besondere GAP-Reflect-Garnstruktur die Menge des reflektierten Lichts mit steigendem Einfallswinkel zunimmt. Das allein ist schon ein sehr vorteilhaftes Verhalten für Sonnenschutztextilien. Für gewöhnlich nimmt die hemisphärische Reflexion von diffus streuenden Materialien mit steigendem Einfallswinkel ab (siehe Cosinus-Verhalten im folgenden Diagramm). Durch das Lockern der Textilien aus dem gespannten Zustand ist es möglich, die hemisphärische Reflexion bis über 10 % zu steigern.

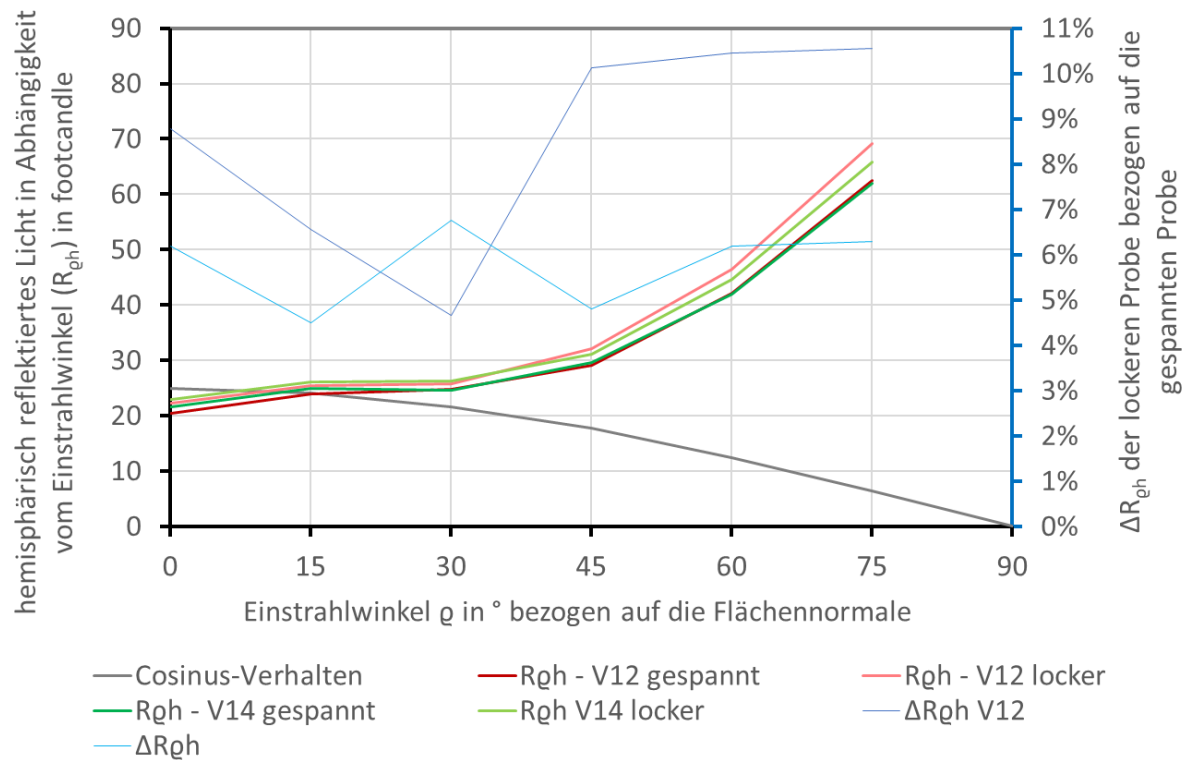


Abbildung 5: gerichtet hemisphärisches Reflexionsverhalten von Gestriicken mit GAP-Reflect-Garnen in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel

Durch weitere Optimierung dieses Verhaltens für konkrete Sonnenschutzprodukte sind hier nach Projektende weitere deutliche Steigerungen dieser positiven Textileigenschaften zu erwarten.

Danksagung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 22932 N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 14-16, 10117 Berlin wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens 22932 N ist an den Deutschen Instituten für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) erhältlich.

Ansprechpartner

Bastian Baesch, bastian.baesch@ditf.de

-
- [i] <https://www.climaplust-securit.com/glasklar/artikel/studie-fordert-groessere-fenster-flaechen-in-gebaeuden/>, Datum des Zugriffs: 12.03.2021
 - [ii] J. Rudnicka: Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland bis 2019, 31.07.2020. Statista, Abgerufen am 12.03.2021.
 - [iii] Statistisches Bundesamt: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/zensus-geschlecht-staatsangehoerigkeit-2020.html>, Datum des Zugriffs: 12.03.2021
 - [iv] Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: Städtebauliche Klimafibel. Stuttgart, 2012. Online abgerufen unter https://www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/Klimafibel-2012.pdf, Datum des Zugriffs 13.05.2025
 - [v] <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-reichweite-winter/>, Datum des Zugriffs: 15.04.2021
 - [vi] <https://www.wernersobek.de/projekte/status-de/fertiggestellt/b10/>, Datum des Zugriffs: 15.04.2021
 - [vii] Sameh Tawfick, Yichao Tang, et al.: Stronger artificial muscles, with a twist. Science 12, Jul 2019: Vol. 365, Issue 6449, pp. 125-126. DOI: 10.1126/science.aax7304
 - [viii] S. Lang, et al.: Textile Anwendungspotentiale (elektro-) thermisch angesteuerter künstlicher Muskeln in 2D-Flächenkonstruktionen.
Schlussbericht IGF-Vorhaben Nr. 19618 N, Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH, Hohenstein, März 2020, pp. 12-18
 - [ix] C. S. Haines et al.: New twist on artificial muscles. PNAS, Vol. 113, No. 42, October 2016, pp. 11709-11716
 - [x] S. Tawfick, Y. Tang: Stronger artificial muscles, with a twist. Science, Vol. 365, No. 6449, July 2019, pp. 125-126
 - [xi] G. von Schoenbeck: Superstarke künstliche Muskeln aus Angelschnur für Roboter und Lüftungsklappen. Ingenieur.de, 24.02.2014, Datum des Zugriffs: 13.05.2025