Abschlussbericht

Porenstrukturabhängiger Wärme- und Stofftransport textiler Flächengebilde

1. Allgemeine Angaben

DFG-Geschäftszeichen: NI 932/10-1, GR 4448/11-1

Projektnummer: 45331148

Titel des Projekts: Porenstrukturabhängiger Wärme- und Stofftransport textiler Flächengebilde

Namen der Antragstellenden: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Nieken, Prof. Dr.-Ing. Götz T. Gresser

Dienstanschrift/en:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Nieken
Institut für Chemische Verfahrenstechnik
Universität Stuttgart
Böblinger Straße 78
70199 Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Götz T. Gresser
Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung
Denkendorf (DITF)
Körschtalstraße 26
73770 Denkendorf

Berichtszeitraum: 01.01.2021 - 30.09.2024.

2. Zusammenfassung / Summary

Im Projekt *„Porenstrukturabhängiger Wärme- und Stofftransport textiler Flächengebilde“* wurden Methoden entwickelt, die es erlauben, aus der Kenntnis des strukturellen Ausbaus von gestrickten Textilien den Transport von Flüssigkeiten und Gasen vorherzusagen. Der Fokus liegt auf Single-Jersey Gestricken, deren Transporteigenschaften entscheidend von den Poren im Garn und der Maschenstruktur sowie deren Wechselwirkungen bestimmt werden. Die Porenstruktur entsteht entlang der textilen Prozesskette von der Faser über das Garn bis zur gestrickten Fläche und kann durch Garnwahl und Strickbindung gezielt gestaltet werden [2, 1].

Im Projekt wurden mehrere neuartige methodische Ansätze entwickelt:

- Ein Porenmodell für Gestricke, das die bimodale Porengrößenverteilung beschreibt und auf CT-Scans validiert wurde, ermöglicht die Vorhersage der Strukturporen allein aus Garn- und Maschenparametern [2].
- Ein strukturparametriertes Modell zur Flüssigkeitsaufnahme im Garn (Dochteffekt) erlaubt erstmals eine Vorhersage basierend ausschließlich auf Porosität und Faserdurchmesser. Die Ergebnisse wurden experimentell validiert und ausführlich in [7] veröffentlicht.
- Für den Gastransport senkrecht zur Fläche wurde ein neuer Workflow entwickelt, der die effektiven Transporteigenschaften (Permeabilität, Diffusivität) aus Maschen- und Garnparametern prädiziert [8, 9].
- Die Trocknung von textilen Materialien konnte mit einem neuartigen Phasenfeldmodell simuliert werden, das gemeinsam mit der RWTH Aachen experimentell validiert wurde [10, 1, 11]. Zur Untersuchung der Interaktion von Kapillartransport und Trocknung in der Gestrickten Fläche wurde ein neuer Versuchsaufbau entwickelt, in dem der Einfluss verschiedener Strukturparameter demonstriert wurden [1].

Die Ergebnisse zeigen, dass durch gezielte Variation der Porenstruktur die Transportmechanismen gesteuert werden können: große Maschen verlängern Transportwege, kleine Strukturporen ermöglichen schnellen Kapillartransport, und Gradienten in der Porengröße fördern Capillary Pumping, wodurch Trocknungsfronten gezielt beeinflusst werden können.

Insgesamt liefert die systematische Kombination aus Experiment, Modellierung und Simulation robuste Vorhersagen von Gas- und Flüssigkeitstransport sowie Trocknung in Textilien am Beispiel der Gestricke. Die Arbeit stellt nicht nur einen methodischen Fortschritt dar, sondern eröffnet auch neue Möglichkeiten für die Entwicklung funktionaler Monomaterialien mit lokal optimierten Transporteigenschaften, beispielsweise für den Einsatz in Brennstoffzellen oder Hygieneprodukte.

In the project ‘Pore-structure-dependent Heat and Mass Transport in Textile Fabrics’, methods were developed that allow to predict the transport rates of liquids and gases from the geometrical structure of knitted textiles. The focus is on single-jersey fabrics, whose transport properties are critically determined by the pores in the yarn and the stitch structure, as well as their interactions. The pore structure develops along the textile production chain, from fiber through yarn to the knitted fabric, and can be purposefully tailored through yarn selection and stitch design [2, 1].

Methodologically, several novel approaches were developed:

- A pore model for knitted fabrics, describing the bimodal pore size distribution and validated using CT scans, enables the prediction of structural pores solely from yarn and stitch parameters [2].
- A structure-parameterized model for liquid uptake in yarns (capillary effect) allows, for the first time, predictions based exclusively on porosity and fiber diameter. The results were experimentally validated and are detailed in [7].
- For gas transport perpendicular to the fabric, a new workflow was developed that predicts effective transport properties (permeability, diffusivity) from yarn and stitch parameters [8, 9].
- The drying of textile materials was simulated using a novel phase-field model, which was experimentally validated in collaboration with RWTH Aachen [10, 1, 11]. To investigate the interaction of capillary transport and drying in the knitted surface, a new test setup was developed in which the influence of various structural parameters was demonstrated [1].

The results demonstrate that targeted variation of the pore structure can control transport mechanisms: large stitches extend transport paths, small structural pores enable rapid capillary transport, and pore size gradients promote capillary pumping, allowing precise control of drying fronts.

Overall, the systematic combination of experiments, modeling, and simulation provides robust predictions of gas and liquid transport as well as drying behavior. This work represents not only a methodological advance but also opens new opportunities for the development of functional monomaterials with locally optimized transport properties, for example in fuel cells or hygiene products.

3. Wissenschaftlicher Arbeits- und Ergebnisbericht

3.1 Ausgangsfragen und Zielsetzung des Projekts

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung von Methoden zur Prädiktion der effektiven Wärme- und Stofftransporteigenschaften von Textilien am Beispiel von Gestricken. Da der Wärme- und Stofftransport maßgeblich durch das Porensystem bestimmt wird, ist eine ortsaufgelöste Beschreibung der porometrischen Eigenschaften notwendig. Dazu soll einerseits ein durchgängiges, ortsaufgelöstes porometrisches Modell von der Faser über das Garn bis zur gestrickten Fläche geschaffen werden, und andererseits der Wärme- und Stofftransport im Garn und im Gestrick modelliert und numerisch berechnet werden. Experimentelle Validierung der Geometrie- und Transportmodelle vertiefen das Verständnis der relevanten Transportmechanismen.

Ausgehend vom hierarchischen Aufbau von Textilien auf den Skalen Faser, Garn und Masche sollen Struktureigenschaften systematisch parametrisiert werden. In AP1 wurde erarbeitet, wie der Strickprozess genutzt werden kann um komplexe monomateriale Strukturen zu erzeugen und die sensitiven Parameter dabei ermittelt. In AP2 wurde ausgehend von der hierarchischen Struktur der Gestricke, ein bimodales Porenmodell entwickelt, welches mit den relevanten verfügbaren Eigenschaften von Single-Jersey Gestricken parametrisiert wird. Das Porenmodell wurde mit hochauflösenden Tomografieaufnahmen validiert. In AP3 wurden der Flüssigkeitstransport im Garn untersucht. Dazu wurde ausgehend von einer randomisierten Faserpackung eine numerische Korrelation für die Permeabilität des Garns entwickelt. Ausgehend von dieser wurde ein Transportmodell entwickelt, welches die diffuse Flüssigkeitsfront prädiziert. Das Modell wurde experimentell an verschiedenen Garnen und Flüssigkeiten validiert. AP4 untersucht den Flüssigkeitstransport auf der Skala des Gestricks. Dazu wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, in dem der Flüssigkeitstransport in der Fläche und die Trocknung kombiniert untersucht werden können. AP5 entwickelt Modelle zur Prädiktion des Stofftransports in der Fläche. Das Trockenverhalten wurde für verschiedene modellhafte Strukturen simuliert. Die relevanten Ergebnisse sind folgend Arbeitspaket-übergreifend dargestellt und die zugehörigen Veröffentlichungen referenziert.

3.2 Beschreibung der projektspezifischen Ergebnisse und Erkenntnisse.

3.2.1 Strukturentwicklung im Strickprozess (AP1)

Die isolierte Variation einzelner Strukturparameter gestaltet sich in der Strickerei, wie in anderen textilen Prozessen, als Herausforderung. Durch die biegeschlaffen Garne und intrinsisch elastischen Strukturen sind der Einfluss der Prozessparameter auf die Geometrie und Eigenschaften des Textils in der Regel nicht linear. Durch die strukturierte Parametrisierung und Herstellung der Gestrick soll zum einen die Möglichkeiten der Gestaltung der Strickstruktur dargestellt werden und zum anderen konkrete Stellgrößen und deren Sensibilitäten bezüglich der Garn- und Strukturporen erarbeitet werden.

Um die charakteristischen Elemente von Maschenwaren systematisch zu parametrisieren, wurden acht verschiedene Single-Jersey Gestricke aus Polyestergarnen auf Flach- und Rundstrickmaschinen der Feinheiten E14 bis E28 hergestellt. Der Einfluss der Texturierung wurde untersuchen indem glatte Garne (Suffix G) und texturierte Garne (Suffix T) mit zwei unterschiedlichen Filament Durchmessern hergestellt wurden. Die Garne besitzen 48 (f48) und 256 Einzelfilamente (f256) bei Garnfeinheiten von 180dtex bis 196dtex. Abbildung 1 zeigt Mikroskopaufnahmen der Gestricke. Das Garn läuft im Bild von links nach rechts und bildet die für Gestricke typische, mäanderförmige Maschengeometrie.

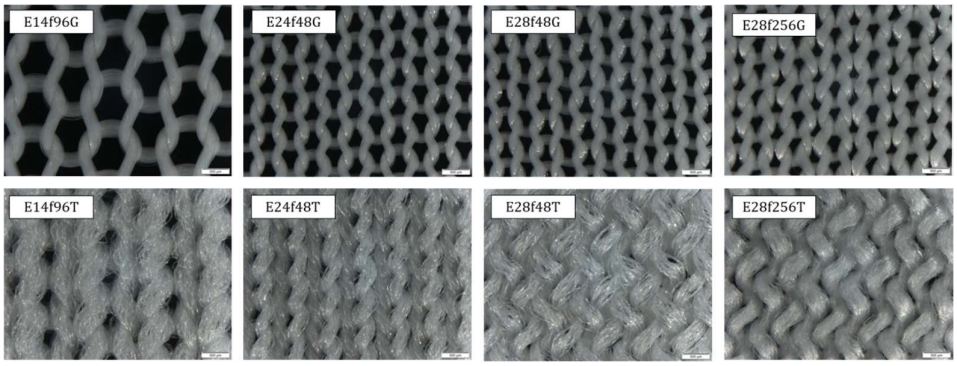

Abbildung 1: Parametrisierung von Gestricken durch Faserdurchmesser, Texturierung und Maschinenfeinheit. Die Maschinenfeinheit und die Texturierung definiert (unter anderem) Strukturporen, Texturierung und Faserdurchmesser die Garnporen. [1]

Abbildung 2 zeigt CT Aufnahmen der beiden Flächen E24f48T und E24f48G. Die beiden Flächen wurden auf derselben Strickmaschine mit glatten und texturierten Garnen hergestellt. Das voluminösere und entsprechend porösere texturierte Garn in E24f48T bildet größere Poren zwischen den Garnen aus, während das glatte Garn in E24f48G feinere Poren zwischen den Fasern aber wesentlich größere Poren zwischen den Garnen ausbildet.

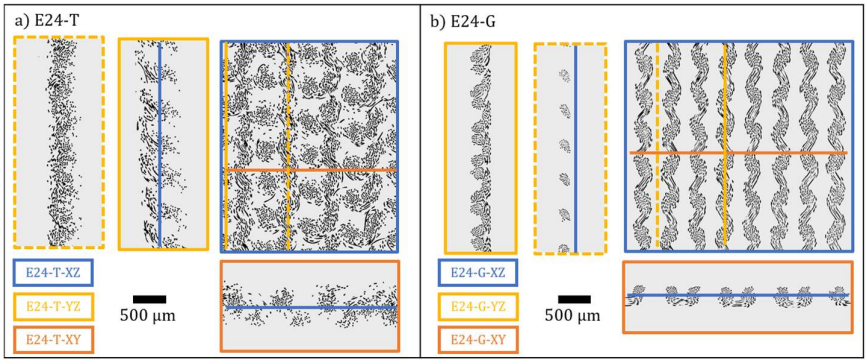

Abbildung 2: CT CT-Scans der Gestricke E24G und E24T.[2]

Als sensitive Parameter für die Porengröße im Gestrick wurden die Maschengröße, eingestellt durch die Kulierung (ein Prozessparameter im Strickprozess) und die Maschinenteilung, und der Garndurchmesser, eingestellt durch die Texturierung und der Faserdurchmesser des verwendeten Garns, bestimmt. Das entwickelte Porenmodell wurde entsprechend mit diesen Größen parametrisiert.

Durch die systematische Parametrisierung und die monomateriale Herstellung der Gestricke konnten die entwickelten Poren- und Transportmodelle für Garn und Gestrick umfassend validiert werden. Insbesondere die Wechselwirkung zwischen Garnstruktur und Maschenstruktur wurde erstmalig im Kontext des Flüssigkeitstransports beschrieben. Die erzeugten Gestricke verdeutlichen eindrucksvoll das hohe Potenzial einer gezielten Strukturentwicklung im Strickprozess und eröffnen neue Möglichkeiten für die funktionale Gestaltung textiler Materialien.

3.2.2 Porometrische Modellierung Garn und Gestrick (AP2 und AP4)

Die Porengrößenverteilung gibt die charakteristischen Struktureigenschaften von porösen Medien wieder. Experimentelle [3], [4] und theoretische Vorarbeiten [5], [6] verschiedener Forschungsgruppen zeigen, dass Gestricke eine bimodale Porengrößenverteilung mit Garnporen auf der Skala des Garns und Strukturporen auf der Skala der Masche aufweisen. Die experimentelle Bestimmung der Porengrößenverteilung mittels Fluideindringverfahren ist jedoch ungenau und aufwendig. Um ein Gestrick für einen bestimmten Verwendungszweck zu qualifizieren und um zu verstehen, wie der textile Herstellungsprozess des Strickens die Porengrößenverteilungsfunktion beeinflusst, ist ein geschlossenes mathematisches Modell notwendig.

Im Projekt wurde ein Porenmodell für Single-Jersey Gestricke entwickelt, welches die komplexe Porenorganisation innerhalb von Gestricken darstellt. Die Garnporen werden durch eine Log-Normal-Verteilung modelliert, die mit dem hydraulischen Durchmesser parametrisiert wird. Die Strukturporen zwischen den Garnen werden als zylindrische Poren modelliert. Die Porengrößen werden mit den Volumina und Porositäten auf den Skalen Garn und Masche gewichtet. Details können der zugehörigen Veröffentlichung entnommen werden [2]. Zur Validierung des Modelles wurden Aufnahmen der Gestricke im Computertomographen aufgenommen. Die Bilder Stacks wurden mit der Porenmorphologie-Methode ausgewertet.

Abbildung 3 zeigt die Validierung des vollständigen Modells an den Tomografie-Daten der Gestricke E24f48G und E24f48T. Aufgrund der Garnstruktur zeigen die beiden Flächen E24-T und E24-G unterschiedlich scharfe Verteilungen, wobei der Abstand der Maxima von Garn- und Strukturporen jeweils charakteristisch ist. Für offene Maschenstoffe mit einer definierten Maschenstruktur (E24G) stimmt die experimentelle Porengrößen-Verteilungsfunktion quantitativ mit dem Modell überein.

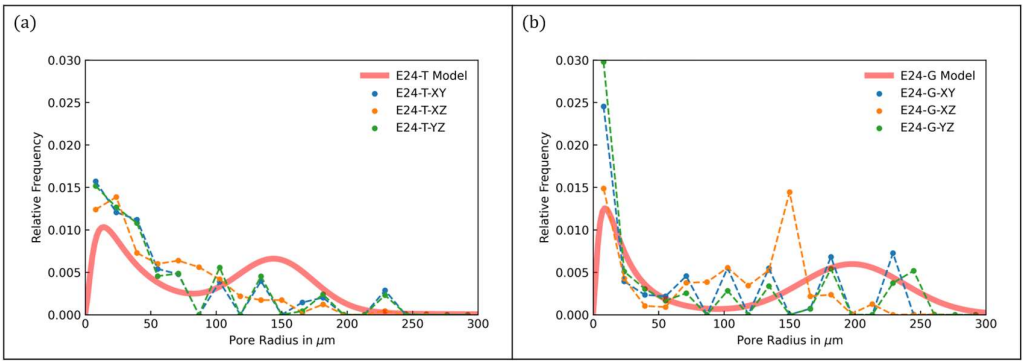

Abbildung 3: Modellierte und Experimentell bestimmte Porengrößenverteilung in verschiedenen Raumrichtungen. [2]

Durch das in [2] veröffentlichte Modell wurde erstmalig die Porengrößen-Verteilungsfunktion in garnbasierten Textilien mathematisch beschrieben. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, wie sich die Wahl der Garn- und Strickparameter quantitativ auf das Porensystem auswirken. Durch geschickte Wahl von Garn und Strickparameter können beispielsweise bimodale oder nahezu monomodale Porengrößenverteilungen realisiert werden. Die Arbeiten zur Beschreibung der Porenstruktur von Gestricken eröffnen damit neue Wege für die gezielte Gestaltung textiler Strukturen und leisten einen wesentlichen Beitrag zur Weiterentwicklung des Standes der Wissenschaft.

3.2.3 Modellierung und Simulation Wärme und Stofftransport im Garn (AP3)

Die Aufnahme von Flüssigkeiten ist für viele technische Anwendungen, etwa in körpernah getragener Bekleidung oder Filtern, von zentraler Bedeutung. Um diesen Prozess besser zu beschreiben, wurde ein Modell entwickelt, das den sogenannten Dochteffekt erfasst. Ein wesentlicher Fortschritt besteht darin, dass mit einer neuartigen Methodik erstmals die Strukturparameter des Garns – wie Porosität und Faserdurchmesser – direkt berücksichtigt wurden. Dadurch lässt sich die Flüssigkeitsaufnahme allein auf Grundlage der Materialstruktur zuverlässig vorhersagen. Zur Validierung wurde eine experimentelle Methode entwickelt, die besonders reproduzierbare Ergebnisse liefert. Eine ausführliche Darstellung unseres Modells und der experimentellen Methodik ist in [7] veröffentlicht. In Abbildung 4 ist Beispielshaft ein Vergleich von simulierter und gemessener Flüssigkeitsaufnahme in Garnmaterial dargestellt.

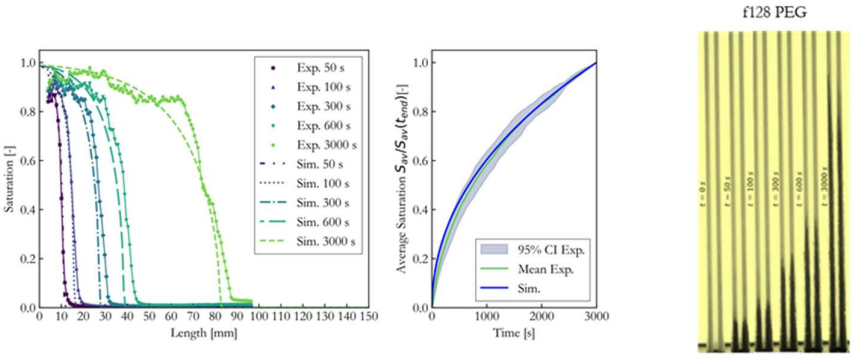

Abbildung 4: Simulierte und gemessene Flüssigkeitsaufnahme in Garnmaterial. Gezeigt ist die ortsaufgelöste und integrale Flüssigkeitsaufnahme im Garnmaterial, sowie die Bilddaten, die im Experiment aufgenommen wurden.[7]

Die Ergebnisse zeigen, dass Simulationen auf Basis der Richards-Gleichung den Verlauf der Flüssigkeitsaufnahme insgesamt gut abbilden. In der Anfangsphase wird die Dynamik leicht überschätzt, da der dynamische Kapillareffekt nicht berücksichtigt wird.

Die Untersuchungen verdeutlichen insbesondere den starken Einfluss des Filamentdurchmesser auf Geschwindigkeit und Höhe der Sättigungsfront. Damit wird nicht nur ein besseres Verständnis der Wirkmechanismen geschaffen, sondern auch eine Grundlage für technische Modellanwendungen gelegt. Die Arbeit stellt somit sowohl einen methodischen Fortschritt (strukturbasierte Vorhersage mittels neuer Validierungsmethode) als auch einen wissenschaftlichen Beitrag zur Modellierung poröser Materialien dar.

3.2.4 Simulation und Validierung des Wärme- und Stofftransports in Gestricken: Gastransport senkrecht zur Fläche (AP4, AP5)

Wichtige Transporteigenschaften in Textilien – insbesondere die Permeabilität und der diffusive Transport – sind entscheidend für die gezielte Anpassung von Gestricken an spezifische Anwendungen. In unserer Veröffentlichung [8] wurde hierzu ein neuer Workflow vorgestellt, mit dem sich die effektiven Transporteigenschaften von Single-Jersey-Stoffen basierend allein auf der Maschengeometrie und den Garnparametern vorhersagen lassen. Abbildung 5 zeigt die Vorgehensweise. Die dafür notwendige Vorarbeit, insbesondere die Beschreibung der Permeabilität und der effektiven Diffusivität des Garns auf Grundlage von Strukturdaten wie Porosität und Filamentdurchmesser, wurde in unserer Veröffentlichung [9] gezeigt.

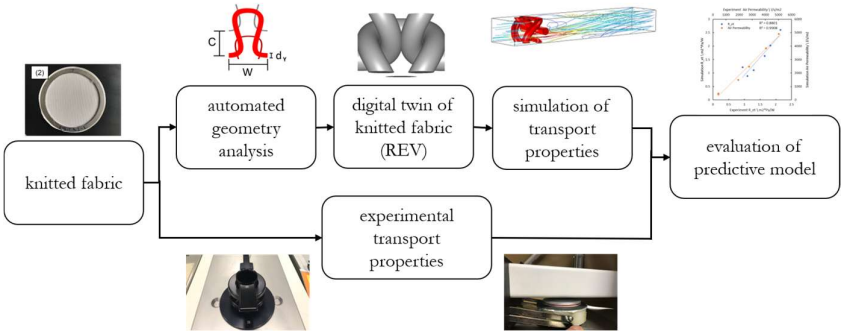

Abbildung 5: Workflow zur Prädiktion der Luftdurchlässigkeit und Wasserdampfdurchgangswiederstandes von Textilien. [8]

Der Workflow erweist sich als effiziente und kostengünstige Methode zur Vorhersage der Luftdurchlässigkeit und des Wasserdampfdurchgangswiderstands, welche die wichtigsten effektiven Eigenschaften hinsichtlich des Gastranports in Textilien darstellen. Der Workflow benötigt ausschließlich geometrische Parameter des Gestricks sowie grundlegende Garnkennwerte und reduziert damit den Bedarf an umfangreichen physikalischen Tests

erheblich. Bei sechs unterschiedlichen Gestricken aus Monofilament- und Multifilamentgarnen erreichte die Vorhersage der Luftdurchlässigkeit eine Genauigkeit von R=0,99 und beim Wasserdampfdurchgangswiderstand R=0,74.

Insgesamt bietet der in [8] vorgestellte Workflow einen methodischen Fortschritt für die Charakterisierung von Maschenwaren: Er ist auf verschiedene Single-Jersey-Gewirke anwendbar, vermeidet aufwendige Experimente und lässt sich auf komplexere Bindungen übertragen.

3.2.5 Simulation und Validierung des Wärme- und Stofftransports in Gestricken: Flüssigkeitstransport und Trocknung (AP4, AP5)

Das Trocknen von Faserstoffen ist für viele Anwendungen von zentraler Bedeutung. In [9] wurde ein neues Phasenfeldmodell vorgestellt, das den mehrphasigen Stofftransport mit Phasenwechsel auf der Porenskala in Garnmaterialien beschreibt. Gemeinsam mit dem Institut für Chemische Verfahrenstechnik der RWTH Aachen konnte das Modell durch Mikrofluidik-Experimente erfolgreich validiert werden. Damit stehen erstmals direkte numerische Simulationen zur Verfügung, mit denen der Einfluss der Garnmikrostruktur auf das Trocknungsverhalten detailliert untersucht werden kann.

Ein Anwendungsbeispiel ist in Abbildung 6 dargestellt. Hier wird die Trocknung von zweilagigen Textilien simuliert. Befindet sich die Schicht mit feinen Fasern auf der Oberseite, so trocknet das Material deutlich schneller als in der umgekehrten Anordnung. Ursache hierfür ist das sogenannte Capillary Pumping: aufgrund höherer Kapillardrücke in den feineren Fasern wird Flüssigkeit aktiv nach oben transportiert, wodurch die Trocknungsfront an der Oberfläche verbleibt und eine hohe Trocknungsrate erhalten bleibt. Die Simulationsergebnisse bestätigen, dass durch gezielte Gradienten in der Porengröße der Trocknungsprozess gesteuert werden kann.

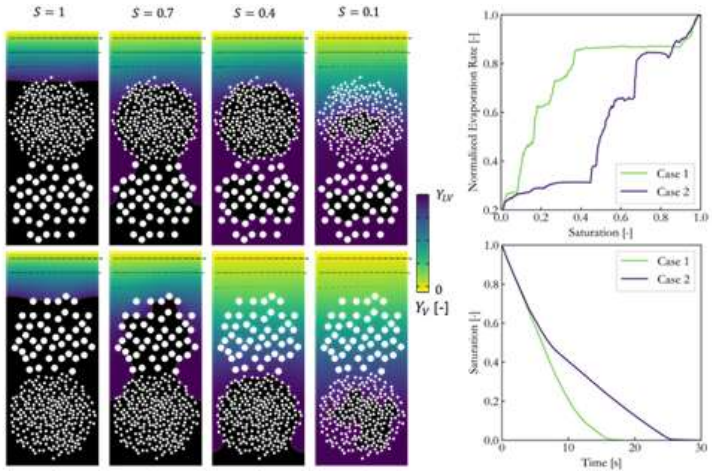

Abbildung 6: Trocknungssimulationen von zwei zweilagigen Textilien mit den zugehörigen Trocknungskurven. Schwarz stellt die Wasserphase und der Farbverlauf die Feuchtigkeitsverteilung Y_V dar. [10]

Ergänzend wurde in [1] eine experimentelle Untersuchung durchgeführt, bei der der Zusammenhang zwischen den Poreneigenschaften der Gestricke und den Wirkmechanismen des Kapillartransports und der Trocknung in der gestrickten Fläche analysiert wurde. Dazu wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, der bildgebende Verfahren zur Erfassung der radialen Flüssigkeitsausbreitung mit gravimetrischen Messungen der Verdunstung kombiniert. Die Ergebnisse zeigen deutliche strukturelle Einflüsse: große Strukturporen hemmen die Ausbreitung und verlängern die Trocknungszeit, während feine, glatte Garne die Trocknung innerhalb des Garns verzögern. Texturierte Garne hingegen begünstigen eine höhere spezifische Trocknungsrate.

Insgesamt verdeutlichen Modellierung und Experimente, dass die Mikrostruktur der Garne einen entscheidenden Einfluss auf die Trocknung hat – und dass mit dem in [9] vorgestellten neuen Modell sowie der begleitenden Validierung erstmals robuste Vorhersagen zum Trocknungsverhalten von Gestricken möglich sind. Durch die systematische Korrelation der effektiven Transporteigenschaften mit den Poreneigenschaften in [1] wurde das Verständnis

der Porenstruktur in Gestricken signifikant vertieft und Beispiele der gezielten Entwicklung monomaterialer Textilstrukturen aufgezeigt.

3.3 Abweichungen vom ursprünglichen Konzept; Ergebnisse, die der Ausgangshypothese widersprechen

Das ursprüngliche Konzept sah die Untersuchung des Wärme- und des Flüssigkeitstransports in Textilien vor. Effektiver Wärmetransport in der Form von Wärmeleitung oder Strahlung wurde nicht untersucht, da eine experimentelle Quantifizierung sich als sehr schwierig erwiesen hat. Der Fokus der Arbeiten wurde auf den relevanteren Flüssigkeits- und Gastransport gelegt.

3.4 Literaturverzeichnis

[1] L. Pauly, L. Maier, S. Schmied, U. Nieken, and G. T. Gresser, “Structure Design by Knitting: Combined Wicking and Drying Behaviour in Single Jersey Fabrics Made from Polyester Yarns,” *Fibers*, vol. 13, no. 8, p. 103, Jul. 2025, doi: https://doi.org/ 10.3390/fib13080103.

[2] L. Pauly, L. Maier, S. Schmied, A. Dinkelmann, U. Nieken, and G. T. Gresser, “Modelling Pore Size Distribution Function of Twist-Texturized Yarns and Single-Jersey Knitted Fabrics,” *Fibers*, vol. 13, no. 4, p. 48, Apr. 2025, doi: 10.3390/fib13040048.

[3] M. Parada, X. Zhou, D. Derome, R. M. Rossi, and J. Carmeliet, “Modeling wicking in textiles using the dual porosity approach,” *Textile Research Journal*, vol. 89, no. 17, pp. 3519–3528, Sep. 2019, doi: 10.1177/0040517518758007.

[4] H. Wakeham and N. Spicer, “Pore-Size Distribution in Textiles-A Study of Windproof and Water-Resistant Cotton Fabrics,” *Textile Research Journal*, vol. 19, no. 11, pp. 703–710, Nov. 1949, doi: 10.1177/004051754901901105.

[5] S. Benltoufa, F. Fayala, and S. BenNasrallah, “Capillary Rise in Macro and Micro Pores of Jersey Knitting Structure,” *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 3, no. 3, p. 155892500800300305, Sep. 2008, doi: 10.1177/155892500800300305.

[6] A. Mark, A. Psikuta, B. Bauer, R. M. Rossi, and G. T. Gresser, “Artificial skin for sweating guarded hotplates and manikins based on weft knitted fabrics,” *Textile Research Journal*, vol. 89, no. 4, pp. 657–672, Feb. 2019, doi: 10.1177/0040517517750646.

[7] L. Maier, L. Pauly, J. T. Gostick, G. T. Gresser, and U. Nieken, “Spontaneous imbibition in thin anisotropic fibrous media: Experiments and numerical modeling,” *Textile Research Journal*, p. 00405175241268794, Oct. 2024, doi: 10.1177/00405175241268794.

[8] L. Pauly, L. Maier, U. Nieken, and G. T. Gresser, “Physics-based modeling of the effective gas transport properties of single jersey knitted fabrics based on images,” *Textile Research Journal*, vol. 94, no. 21–22, pp. 2543–2561, Nov. 2024, doi: 10.1177/00405175241249190.

[9] L. Maier, S. Brosch, M. Gaehr, J. Linkhorst, M. Wessling, and U. Nieken, “Convective Drying of Porous Media: Comparison of Phase-Field Simulations with Microfluidic Experiments,” *Transp Porous Med*, vol. 151, no. 3, pp. 559–583, Feb. 2024, doi: 10.1007/s11242-023-02051-y.

[10] L. Maier, “Predicting mass transfer in textile materials using digital twins and yarn properties,” Universität Stuttgart, 2025. Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/16056

[11] L. Maier, L. Kufferath-Sieberin, L. Pauly, M. Hopp-Hirschler, G. T. Gresser, and U. Nieken, “Constitutive Correlations for Mass Transport in Fibrous Media Based on Asymptotic Homogenization,” *Materials*, vol. 16, no. 5, p. 2014, Feb. 2023, doi: 10.3390/ma16052014.

[12] L. Pauly, L. Maier, S. Dey, S. Schmied, U. Nieken, and G. T. Gresser, “Image-based analysis of single jersey loop parameters,” *Textile Research Journal*, vol. 0, no. 0, pp. 1–9, Jun. 2023, doi: 10.1177/00405175231173466.

[13] L. Maier, M. Hopp-Hirschler, and U. Nieken, “Numerical Simulation of Multi-phase Flow in Porous Media with a Phase-field Meth-od,” presented at the Interpore 2022, Abu Dhabi, Jun. 29, 2022.

[14] L. Pauly, L. Maier, U. Nieken, and G. T. Gresser, “Gresser Textile porous systems — crossing scales for optimized knitted fabrics,” presented at the ADD International Textile Conference, Aachen, Dec. 01, 2022.

[15] L. Pauly, A. Maier, U. Nieken, and G. T. Gresser, “Textile Porensysteme über alle Skalen zum optimalen Gestrick,” presented at the Denkendorfer Innovationstag 2023, Denkendorf, May 16, 2023.

[16] L. Maier, S. Brosch, J. Linkhorst, M. Wessling, and U. Nieken, “Convective Drying of Porous Media – Comparison of Phase Field Simulations with Microfluidic Experiments,” Edinburgh, May 22, 2023.

[17] L. Pauly, L. Maier, U. Nieken, and G. T. Gresser, “Functional design of porous systems by systematic patterning of flat knits,” presented at the Interpore 2023, Edinburgh, May 22, 2023.

[18] L. Pauly, L. Maier, U. Nieken, and G. T. Gresser, “Structural Design of Textiles: Influence of Yarn and Patterning on Drying of Knitted Fabrics,” presented at the Dornbirn GFC 2024, Dormbirn, Österreich, Sep. 13, 2024.

[19] L. Pauly, S. Dey, S. Schmied, and G. T. Gresser, “Automatisierte Vermessung von Maschenwaren,” Deutsche Patentanmeldung Nr. 10 2022 131 245.3

4. Veröffentlichte Projektergebnisse

4.1 Publikationen mit wissenschaftlicher Qualitätssicherung

[11]	L. Maier, L. Kufferath-Sieberin, L. Pauly, M. Hopp-Hirschler, G. T. Gresser, U. Nieken Constitutive Correlations for Mass Transport in Fibrous Media Based on Asymptotic Homogenization 2023, Materials 16(5), https://doi.org/10.3390/ma16052014
[9]	L. Maier, S. Brosch, M. Gähr, J. Linkhorst, M. Wessling, U. Nieken Convective Drying of Porous Media: Comparison of Phase Field Simulations with Microfluidic Experiments 2024, Transport in Porous Media 151(3), 559-583, https://doi.org/10.1007/s11242-023-02051-y
[7]	L. Maier, L. Pauly, J. Gostick, G. T. Gresser, U. Nieken Spontaneous imbibition in thin anisotropic fibrous media – Experiments and Numerical Modelling 2024, Textile Research Journal, https://doi.org/10.1177/00405175241268794
[12]	L. Pauly, L. Maier, S. Dey, S. Schmied, U. Nieken, G. T. Gresser Image-based analysis of single jersey loop parameters 2023, Textile Research Journal, https://doi.org/10.1177/00405175231173466
[8]	L. Pauly, L. Maier, U. Nieken, G. T. Gresser Physics-based modelling of the effective gas transport properties of single jersey knitted fabrics based on images 2024, Textile Research Journal, https://doi.org/10.1177/00405175241249190
[2]	Pauly, L., Maier, L., Schmied, S., Dinkelmann, A., Nieken, U., Gresser, G.T., Modelling Pore Size Distribution Function of Twist-Texturized Yarns and Single-Jersey Knitted Fabrics 2025. Fibers 13, 48. https://doi.org/10.3390/fib13040048
[1]	Pauly, L., Maier, L., Schmied, S., Nieken, U., Gresser, G.T. Structure Design by Knitting: Combined Wicking and Drying Behaviour in Single Jersey Fabrics Made from Polyester Yarns 2025. Fibers 13, 103. https://doi.org/ 10.3390/fib13080103

4.2 Weitere Publikationen und öffentlich gemachte Ergebnisse

[13]	L. Maier, M. Hopp-Hirschler, U. Nieken Numerical Simulation of Multi-phase Flow in Porous Media with a Phase-field Method, Vortrag, InterPore 2022 Abu Dhabi , 29. May -03. June 2022
[14]	L. Pauly, L. Maier, U. Nieken, G. Gresser Textile porous systems — crossing scales for optimized knitted fabrics Vortrag, ADD International Textile Conference. Aachen, 01.-02. Dezember
[15]	L. Pauly, L. Maier A, U. Nieken, G.T. Gresser,. Textile Porensysteme: über alle Skalen zum optimalen Gestrick, Vortrag, Denkendorfer Innovationstag 16.02.2023, Denkendorf
[16]	L. Maier, S. Brosch, J. Linkhorst, M. Wessling, U. Nieken Convective Drying of Porous Media – Comparison of Phase Field Simulations with Microfluidic Experiments Vortrag, InterPore 2023, Edinburgh, 22. May -25. May 2023
[17]	L. Pauly, L. Maier, U. Nieken and G.T. Gresser, Functional design of porous systems by systematic patterning of flat knits, Poster, InterPore 2023, Edinburgh, 22. May -25. May 2023
[18]	L. Pauly, L. Maier, Structural Design of Textiles: Influence of Yarn and Patterning on Drying of Knitted Fabrics, Vortrag, Dornbirn GFC 2024 Dornbirn,13.09.2024,

4.3 Patente (angemeldete und erteilte)

[19]	L. Pauly, S. Dey, S. Schmied, G. T. Gresser, Automatisierte Vermessung von Maschenwaren Deutsche Patentanmeldung Nr. 10 2022 131 245.