

# Nanocellulose – Grundbausteine der Faserwand an der Oberfläche

## Nanocellulose – basic fibre wall components

Von Tiemo Arndt und Ralf Gericke, Papiertechnische Stiftung PTS  
By Tiemo Arndt and Ralf Gericke, Papiertechnische Stiftung PTS

Fasern aus Zellstoff, Holzstoff oder Altpapier verleihen dem Papier Festigkeit und je nach Aufbereitung und Auswahl werden die optischen und strukturellen Eigenschaften gesteuert. Grundbaustein aller Faserstoffe ist Cellulose. Die außerordentlich hohen Festigkeitseigenschaften machen sie besonders interessant als Armierungskomponente in Verbundwerkstoffen, da das theoretische E-Modul der kristallinen Cellulosestruktur auf 120–170 GPa geschätzt wird [i, ii, iii]. Im Vergleich zu Glasfasern ist das E-Modul damit 2–3 mal höher. Intensive Anstrengungen wurden schon in den 1980er Jahren unternommen, um die Strukturen aus der Faserwand herauszulösen und die Eigenschaften technisch nutzbar zu machen [iv]. Aber erst unterschiedliche Fasermodifikationen konnten den Energieverbrauch in der Herstellung deutlich senken, wodurch eine Herstellung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erst möglich wurde [v, vi]. Mit diesen Entwicklungen ging ein riesiger Innovationsschub durch viele Branchen, da völlig neue Produkteigenschaften durch einen nachwachsenden Rohstoff möglich wurden. Weltweit sind Anstrengungen unternommen worden, um den wachsenden Bedarf an nanoskaligen Cellulosen zu decken. Viele Firmen haben Investitionen in Pilot- und Demonstrationsanlagen investiert.

Für den Einsatz von NFC in der Oberfläche sprechen gute Gründe: Zum einen lassen das hohe E-Modul und die Flexibilität erwarten, dass Falzbrucheigenschaften verbessert werden. Außerdem kann NFC als Binder in konventionellen Streichfarben zum Ersatz von Latex dienen. Es gibt aber auch Barriereanwendungen [vii] und Spezialprodukte in denen NFC eingesetzt werden kann.

**HERSTELLUNG/WAS IST NANOCELLULOSE?** Als Nanocellulosen werden ganz allgemein Produkte bezeichnet, die aus der pflanzlichen Faserwand durch mechanisch/enzymatisch oder chemische Verfahren isoliert wurden und Dimensionen im Nanometerbereich aufweisen. Daneben sei erwähnt, dass auch Bakterienstämme und andere Organismen Cellulose synthetisieren können. Der strukturelle Aufbau der nanoskaligen Produkte ist nahezu identisch und ergibt sich aus der übermolekularen Struktur der Cellulose. Die über Wasserstoffbrückenbindungen stabilisierten Cellulosemoleküle lagern sich in hierarchischer Ordnung zu Ele-

Chemical, mechanical or recycled fibres lend strength to paper and determine its optical and structural characteristics, depending on the pulp type and treatment method used. Cellulose is the basic building block of all pulps. Its extraordinarily high strength properties make it particularly interesting for the reinforcement of composite materials – the theoretical elastic modulus of a crystalline cellulose structure is estimated at 120–170 GPa [i, ii, iii], which is 2–3 times higher than the elastic modulus of glass fibres. Intense efforts were already made in the 1980ies to extract these cellulose structures from fibre walls and utilize their advantages in technical applications [iv]. What has made the production of nanocelluloses economical, however, was the development of various fibre modification methods leading to a significantly reduced energy demand of the process [v, vi]. This sparked off a surge of innovations in many sectors, making it possible to obtain products with completely new characteristics from renewable raw materials. To satisfy the growing demand for nanocelluloses, companies in all parts of the world have invested in pilot and demonstration plants.

There are several good reasons to use nano- or microfibrillated cellulose (NFC, MFC) in paper surfaces: First, its high elastic modulus and flexibility can be expected to improve the fold break resistance of papers. Second, NFC can be used to replace latex binders in conventional coating colours. And third, NFC is suitable for barrier applications [vii] and specialty products.

**DEFINITION/PRODUCTION OF NANOCELLULOSE.** The term «nanocellulose» generally refers to products that are isolated from the walls of plant fibres by mechanical/enzymatic or chemical methods and whose dimensions are typically in the range of nanometres. It should be added that cellulose can also be synthesized by certain strains of bacteria and other organisms. All nano-scale products have largely identical structures, which is due to the supramolecular structure of the cellulose molecules in lignified cell walls. Cellulose molecules stabilized by hydrogen bonds combine in hierarchical order to form elementary fibrils with lateral dimensions of 3–5 nm. The elementary cellulose fibrils form aggregates with diameters of 20–30 nm, so-called microfibrils, which include highly regular crystalline

mentarfibrillen zusammen. Die laterale Ausdehnung der Elementarfibrillen beträgt 3–5 nm. Die Elementarfibrillen aggregieren zu Cellulose-Fibrillen Aggregaten mit einem Durchmesser von 20–30 nm und bilden das System der Mikrofibrillen. Diese enthalten neben hoch geordneten kristallinen Bereichen auch ungeordnete amorphe Strukturen und sind eingebettet in eine Matrix aus Hemicellulosen und Lignin.

Um die fibrillären Strukturen nutzbar zu machen, muss der gebleichte Zellstoff bis auf die Grundbausteine aufgeschlossen werden. Dies geschieht meist durch eine dreistufige Prozessführung:

- Erhöhung der Zugänglichkeit der Faserwand mittels konventioneller Zellstoffmahlung,
- Chemische Vorbehandlung und Funktionalisierung (sauer, alkalisch-oxidativ oder enzymatisch)
- Auflösen der Faserwandstruktur in Fibrillen/Mikrofibrillierung durch Energieeintrag, wie intensive Scherung in Homogenisatoren.

Im Ergebnis dieser Behandlung entstehen wässrige, fibrilläre Celluloseassoziate hoher Viskosität, und geringer Trockenmasse mit thixotropem Fließverhalten. Durch die chemische Vorbehandlung können die morphologisch-strukturellen und Ladungseigenschaften gesteuert werden, wobei nach dem mechanischen Aufschluss der Durchmesser der Fibrillen bis zu fünf Nanometer und deren Länge mehrere Mikrometer erreicht. Die chemische Vorbehandlung dient nicht nur dazu, den Energiebedarf in der folgenden mechanischen Homogenisierung zu senken; sie beeinflusst direkt die Morphologie und die Reaktivität der Produkte. Intensive Forschungsarbeiten wurden in Nordamerika zur Umsetzung eines säure-hydrolytischen Abbaus amorpher Strukturen unternommen. Die erhaltenen Produkte sind steife, stäbchenförmige Cellulosen hoher Kristallinität. Durch eine Sulfatierung bilden sie stabile Suspensionen mit flüssigkristallinen Eigenschaften. Eine Produktionsanlage wurde dafür bereits in Betrieb genommen. In Europa und Asien ist der Fokus dagegen mehr auf den Erhalt der fibrillären Struktur ausgerichtet, indem eine enzymatische Modifikation vorgenommen wird oder alkalisch-oxidativ Carboxylgruppen eingeführt werden [vi, viii].

**NFC EINSATZ IN DER PAPIERMASSE – FESTIGKEITEN.** Gerade im Papier kommen die festigkeitssteigernden Eigenschaften besonders zur Geltung. Beim Einsatz in der Masse ist die Frage des Feststoffgehalts untergeordnet. In dem abgeschlossenen EU-Projekt SUNPAP (Scale up of Nanoparticles in Papermaking, Laufzeit 01.07.2009 – 30.09.2012, EU-FP7 Grant Agreement No 228802) wurden etwa besondere Konzepte zur Erzeugung von mehrlagigem Karton abgeleitet. Durch Zugabe von nanofibrillärer Cellulose (NFC) konnte das E-Modul in der Außenlage drastisch erhöht werden, wodurch der Holzstoff der Mittelage mit geringem Energieeinsatz gemahlen werden kann. Um die z-Festigkeit nicht negativ zu beeinflussen, genügen schon geringe Mengen an nanofibrillärer Cellulose, um die interne Bindung zu verbessern. Die NFC führt dabei in der Außenlage zu besseren Oberflächeneigenschaften, wodurch weniger Kalanderarbeit eingesetzt werden muss, um eine geeignete Oberfläche zu erzielen und Volumen des Kartons erhalten bleibt.

regions as well as irregular amorphous regions and are embedded in a matrix of hemicelluloses and lignin.

To be able to utilize these fibrillated structures in papermaking, pulps must be disintegrated into their basic building blocks after bleaching. This is usually done in a three-stage process:

- Conventional pulp refining to increase the accessibility of fibre walls,
- Chemical pre-treatment and functionalization (acid, alkaline-oxidative or enzymatic treatment),
- Energy input, e.g. by intense shearing in homogenizers, to break the fibre wall structures down into fibrils/microfibrils.

The result of this treatment is aqueous, fibrillated cellulose products characterized by high viscosity, low dry content and thixotropic flow properties. The chemical pre-treatment serves to control the morphological structure and charge characteristics of the products, and the mechanical treatment leads to fibrils with diameters of up to five nanometres and lengths of several micrometers. Besides reducing the energy demand of the subsequent mechanical homogenization, the chemical pre-treatment directly impacts the morphology and reactivity of the products. Intense research efforts were made in North America to technically implement the acid-hydrolytic degradation of amorphous structures, a process leading to stiff, rod-shaped, highly crystalline cellulose products which can then be sulphated to form stable suspensions with liquid crystalline properties. One full-scale production system has already been put into operation. In Europe and Asia, research focuses more on the preservation of fibrillated structures by enzymatic modification or the introduction of alkaline-oxidative carboxyl groups [vi, viii].

**USING NFC IN THE WET END – STRENGTH RESULTS.** The strength-enhancing effects of NFC are particularly noticeable in papermaking. When NFC products are in the wet end, their solids content plays only a minor role. The recently completed SUNPAP project (Scale up of Nanoparticles in Papermaking, project period: 01.07.2009 – 30.09.2012, funded under EU-FP7 Grant Agreement No. 228802) has led to specific production concepts for multiply board. The use of NFC drastically increased the elastic modulus of the outer ply, making it possible to reduce the refining energy input for the middle ply. The internal bonding strength could already be improved by small additions of NFC, which prevented adverse effects on z-strength. NFC also improved the surface properties of the outer ply, thus reducing the calendering effort necessary to achieve the desired surface quality whilst maintaining the bulk of the paperboard material.

**USING NANO- AND MICROFIBRILLATED CELLULOSES IN THE PAPER SURFACE.** Coating colours for paper and paperboard are aqueous dispersions that must meet certain basic demands to be processable and achieve the desired product quality. The effect of MFC on relevant coating colour properties depends on the type and dosing quantity of the products used.

Typical coating colours without MFC have solids contents of around 68% and high-shear viscosities well below 100 mPas.

**EINSATZ NANO- UND MIKROFIBRILLÄRER CELLULOSE (MFC UND MFC) IN DER PAPIEROBERFLÄCHE.** Streichfarben für die Papierbeschichtung sind wässrige Dispersionen, die für die Verarbeitbarkeit und die Produkteigenschaften wesentliche Eigenschaften erfüllen müssen. Je nach Typ und Einsatzmenge der MFC Produkte ergeben sich auf relevante Streichfarbeneigenschaften mehr oder weniger starke Veränderungen.

Die MFC-freien Streichfarben erreichen typischerweise Feststoffgehalte von rund 68 % und zeigen high-shear Viskositäten deutlich unter 100 mPas auf. Sobald MFC zugesetzt wurde, ergaben sich entweder deutlich höhere high-shear Viskositäten bei der Formulierung mit Trockenfaserstoffen oder aber der erreichbare Feststoffgehalt der Streichfarbe fiel je nach Einsatzmenge an MFC und dessen Feststoffgehalt dramatisch ab. Die Streichfarbeneigenschaften sind geprägt von den erreichbaren Feststoffgehalten aufgrund der Verdünnung durch die eingesetzten MFC-Produkte. Die Faserstoffe sind, sofern sie nicht getrocknet als Pulver zum Einsatz kommen, im Feststoffgehalt auf unter 10 % begrenzt.

Trotz einer Verdünnung der Streichfarben bei Einsatz von MFC zeigen sie interessante technologische Eigenschaften: so bleibt die Wasserretention der Streichfarben auf einem vergleichbaren Niveau zu faserstofffreien Streichfarben. Die vergleichsweise schnellere Immobilisierung der MFC-haltigen Streichfarben ist positiv zu bewerten. Der Einsatz von MFC in Streichfarben führt aufgrund der raschen Immobilisierung der Streichfarbe beim Kontakt mit dem Streichrohmaterial zu einem deutlich verbesserten Streichfarben hold-out. So konnte sogar noch bei deutlicher Verdünnung der Streichfarben durch die MFC eine höhere Abdeckkraft nachgewiesen werden, sichtbar an Weiße und Papieropazität.

**EFFIZIENZSTEIGERUNG DER SYNTHETISCHEN BINDEMITELE BEI EINSATZ VON MFC.** Im Unterschied zu synthetischen Latizes, die als Hauptbindemittel in Streichfarben Verwendung finden, verfilmen die MFC Produkte nicht. Dies hat zur Folge, dass die Cellulosen einen offeneren Strich erlauben, mit positiven Effekten, wie z.B. geringere Blisterneigung beim Bedrucken im Rollenoffset [ix]. Die MFC verfügt selbst allerdings nicht über Bindekraft vergleichbar zu Stärke oder Latex. Dies konnte anhand der Untersuchungen im Projekt «Einsatz von mikrofibrillierter Cellulose als Co-Binder zur Kostensenkung und Eigenschaftverbesserung bei Streichfarben» (Laufzeit 01.07.2008 – 30.06.2010, IGF 15705) gezeigt werden. Hier ist bei einer Substitution von 50 % Latex durch MFC stetes starkes Rupfen aufgetreten. Die MFC unterstützt im Zusammenspiel mit der raschen Immobilisierung der Streichfarben die Filterkuchenbildung, die wiederum als eine Migrationsbremse für die Streichfarbentypen fungiert. Dieser Filterkuchen arbeitet umso effektiver in Hinblick auf die erreichbare Oberflächenfestigkeit je geringer der Streichfarbenfeststoffgehalt ist und desto rascher die Streichfarbentypenimmobilisierung erfolgt bzw. je stärker fibrilliert das MFC Produkt ist.

**BEDRUCKBARKEIT UND VERARBEITBARKEIT/ARMIERENDE WIRKUNG VERBESSERUNG STRICHBRUCH.** Die Bedruckbarkeit gestrichener Papiere hängt in entscheidender Weise von der Poren-

When MFC was added, the high-shear viscosity of the colour increased significantly, or its achievable solids content decreased dramatically depending on the dosing quantity and solids content of the MFC product used. The properties of the coating colour depend on the solids content achievable with the dilution effect caused by MFC use. The solids content of MFC products – apart from those used as powders – is limited to less than 10%.

However, in spite of being diluted, MFC-containing coating colours still have a number of technological advantages: Their water retention remains comparable to that of MFC-free formulations. The faster immobilization of MFC-containing coating colours is another advantage, leading to a clearly better colour hold-out on the base paper. Even in the case of strongly diluted colours, the use of MFC resulted in higher coverage evident as paper brightness and opacity.

#### **INCREASED EFFICIENCY OF SYNTHETIC BINDERS THROUGH MFC.**

Unlike synthetic latices, the main binding agents used in coating colours, MFC products form no films, thus making it possible to obtain more open coat structures with positive effects like reduced blistering in web offset printing [ix]. MFC itself, however, has no bonding power like starch or latex. This was demonstrated in the IGF project 15705 «Using microfibrillated cellulose as co-binder for the cost reduction and property improvement of coating colours» (project period: 01.07.2008 – 30.06.2010), where the substitution of MFC for 50% of the latex binder resulted in strong picking. Together with the faster immobilization of coating colours, the MFC facilitates the formation of a filter cake that slows down the migration of coating colour components into the paper. The surface strength-enhancing effect of the filter cake is the greater the lower the solids content of the coating colour and the faster its immobilization proceeds; or the more fibrillated the MFC product is.

#### **PRINTABILITY AND OTHER CONVERTING PROPERTIES / REINFORCEMENT BY MFC REDUCES COAT RUPTURES AT THE FOLD.**

The printability of coated papers depends decisively on the pore structure of dried coatings. Recent studies into the effects of coat layer porosity on printability suggest that a narrow and homogeneous pore size distribution helps to achieve an undisturbed print image [x]. The porosity of coat layers can be controlled by the fibrillation degree and resulting size distribution of the cellulose products used. This effect can be utilized to influence the quality of coated papers and improve their printability.

Printing trials using MFC-coated papers on a heatset web offset (HSWO) machine went entirely smoothly, i.e. without problems in terms of runnability, ink build-up and picking. This led to the conclusion that it is technologically feasible to substitute MFC for 17% of the latex binder in the coating colour recipe.

The folding behaviour directly after printing and repeated drying is a key converting criterion of HSWO papers. To evaluate the folding behaviour, it was necessary to measure the residual tensile strength of the papers and assess the optical quality of the fold area. Residual strength measurements alone failed to show the effect of MFC-containing coating colours: the results

struktur des getrockneten Strichs ab. Aus jüngeren Untersuchungen zum Einfluss der Strichporosität auf die Bedruckbarkeit ist bekannt, dass eine möglichst enge, d. h. gleichmäßige Porengrößenverteilung für eine ruhiges Druckbild vorteilhaft ist [x]. Je nach Fibrillierungsgrad der eingesetzten Cellulosen und der damit erhaltenen Größenverteilung, kann die Strichporosität gesteuert werden. So kann Einfluss auf die Qualität der gestrichenen Papiere genommen und die Bedruckbarkeit verbessert werden.

Die Druckversuche an einer HSWO Rollenoffsetmaschine sind durchwegs ohne Schwierigkeiten bei Laufverhalten, Aufbauen und Rupfen verlaufen. Demzufolge ist eine Reduzierung von 17 % an Latexbindemittel durch MFC in Streichfarben technologisch erreichbar.

Für die Weiterverarbeitung ist bei HSWO Papieren insbesondere das Verhalten beim Falzen unmittelbar nach dem Drucken inklusive erneuter Trocknung entscheidend. Bei der Untersuchung der Falzfähigkeit wird einmal die Bestimmung der Restbruchkraft und zum anderen die optische Güte der Falzkante herangezogen. Die Bestimmung der Restbruchkraft allein hätte nicht ausgereicht, um den Effekt der MFC-haltigen Streichfarben bei den Versuchen zu verdeutlichen. Die Restbruchkräfte nach der Falzung liegen bei allen Versuchspapieren – mit oder ohne MFC – innerhalb einer Standardabweichung.

Anders hingegen verläuft die Beurteilung der Falzgüte mittels der Falzbruchkennzahl, die über eine Zeilenkamera ermittelt wird. Die Falzbruchkennzahl ist bei den mittels Filmpresse gestrichenen Papieren deutlich gegenüber der MFC-freien Variante reduziert. Die Armierung des Strichs durch MFC erfolgt nicht im Sinne einer Erhöhung der Restbruchkräfte. Vielmehr ergibt sich ein gleichmäßigeres Bild nach der Falzung, was zu einer verbesserten Bewertung führt und die Falzkante optisch besser und gleichmäßiger erscheinen lässt.

Eine weitere positive Eigenschaft der NFC konnte im Zusammenhang mit der Herstellung gestrichener Photo Inkjet Papiere erarbeitet werden. Dabei werden Formulierungen relativ verdünnter Suspensionen mit Feststoffgehalten von 20 bis 30 % in hohen Strichgewichten aufgetragen, was insbesondere hinsichtlich der Trocknung enorme Anforderungen stellt. Ein geschwindigkeitsbestimmender Schritt für die Produktion ist dabei das Auftreten von Trocknungsrissen (Cracks). Bereits der Einsatz von 5 bis 10 % an NFC bezogen auf das Bindemittel verringert die Crackingwahrscheinlichkeit signifikant. Auch die übrigen Papierparameter bleiben aufgrund der geringen Einsatzmenge an NFC unverändert oder verbessern sich geringfügig. Wird dieses Potential an reduziertem Cracking durch den Einsatz von NFC für eine Maschinengeschwindigkeitssteigerung genutzt, so kann die Produktionsleistung der Anlage um ca. 7 % gesteigert werden.

**AUSBLICK UND ZUSAMMENFASSUNG.** Anhand von ausgewählten Rezepturen konnte an der VESTRA Versuchs-Streichmaschine der PTS gezeigt werden, dass der Einsatz von bis zu vier Teilen MFC in Streichfarben gut verarbeitbar ist. Die erhaltenen Ver-

of all sample papers – MFC-containing or not – were found to be within the same standard deviation.

Things looked different, however, when the folding behaviour was assessed as fold break index with the help of a line scan camera. The film-press coated papers were found to have significantly lower fold break indices than the MFC-free papers. The coat-reinforcing effect of MFC does not manifest itself in higher levels of residual tensile strength. Rather, the fold areas look more homogeneous, leading to better results in the optical evaluation.

Another positive effect of NFC was observed in the production of coated photo inkjet papers. Highly diluted suspensions with solid contents of only 20–30% were applied at high coat weights, resulting in enormous drying demands. The production speed was limited by the formation of cracks during drying. NFC additions of only 5 to 10% related to binder were found to significantly reduce the cracking propensity. At this low dosing quantity of NFC, all other paper parameters remained unchanged or were even slightly improved. When the crack-reducing potential of NFC is utilized to implement higher machine speeds, the plant output can be increased by approx. 7%.

**SUMMARY AND OUTLOOK.** Trials on the VESTRA pilot coater of PTS have shown that it is possible to use up to four parts MFC in coating colours without adverse effects on runnability. The

Messe München International oe-a

**LOPE-C**  
Large-area,  
Organic & Printed Electronics  
Convention

Messe München, Germany

Conference:  
June 11–13, 2013

Exhibition:  
June 12–13, 2013

Buy your ticket now!  
[www.lope-c.com/tickets](http://www.lope-c.com/tickets)

www.lope-c.com

5th International Conference and Exhibition for the Organic and Printed Electronics Industry

2nd picture from above: Aulif AG

suchspapiere konnten an einer HSWO- Druckmaschine ohne Verarbeitungsprobleme bedruckt werden. Der optische Eindruck ist bei den MFC-haltigen Mustern etwas schlechter gegenüber den Mustern ohne MFC (Mottling). Die Falzkante ist bei den MFC-haltigen Mustern dagegen optisch ruhiger als bei den MFC-freien Mustern. Die Oberflächenfestigkeit aller VESTRA Muster war ausreichend gut, so dass kein Rupfen während der Druckversuche beobachtet werden konnte. Dies ist gleichzusetzen mit einer möglichen Substitution an synthetischen Bindemitteln von 1/6 durch MFC in Streichfarben.

Ein weiterer positiver Ansatz ist der Einsatz fibrillärer Faserstoffe bei besonders crackempfindlichen Papierbeschichtungen wie zum Beispiel mikroporöser Inkjet Beschichtungen. Hierbei ist es gelungen, durch Einsatz von NFC in der Formulierung eine deutliche Verringerung der Rissbildung beim Trocknen bei ansonsten konstanten oder leicht verbesserten Oberflächeneigenschaften zu erreichen.

Problematisch in vielerlei Hinsicht ist der hohe Wassergehalt der erzeugbaren Produkte an Nanocellulosen, da beim Trocknen die Fibrillen Agglomerieren und Verhornen und nicht wieder redispersierbar sind. Insbesondere für Anwendungen in der Verstärkung von Kunststoffen mit nanoskaligen Cellulosen muss bisher noch ein umständlicher Lösungsmittelaustausch vorgenommen werden, um eine entsprechende Trocknung zu realisieren [xi]. Ein anderer Weg ist die Herstellung bei höheren Stoffdichten. Laut einer Pressemitteilung vom Januar 2013 haben BASF und ZELFO Technology eine Vereinbarung zur Übertragung von GE-Rechten für die neueste Zelfo-Verfahrenstechnologie zur effizienten und kostengünstigen Herstellung mikrofibrillierter Cellulose unterzeichnet, die bei deutlich höheren Stoffdichten herstellbar sein soll.

Papiertechnische Stiftung PTS,  
D-80797 München,  
www.ptspaper.de,  
Auf der Zellcheming: 20 Foyer EG

sample papers produced could be printed without problems on an HSWO press. The optical quality (mottling) of MFC-containing papers was slightly lower than that of the samples without MFC. The fold areas of MFC-containing papers, however, appeared more homogeneous than those of the MFC-free samples. All VESTRA samples were of satisfactory surface strength – no picking was observed in the printing trials. This means that MFC can be substituted for 1/6 of the synthetic binder in the coating colour formulation.

Another promising option is the use of fibrillated cellulose products in paper coatings with high cracking tendency, for example micro-porous inkjet coatings. By using NFC in the formulation, the number of cracks could be significantly reduced during drying whilst maintaining or slightly improving all other surface parameters.

What has proved to be problematic in many ways is the high water content of the nanocellulose products. Because the fibrils undergo agglomeration and hornification during drying, they cannot be redispersed. Especially when using nano-scale celluloses as reinforcement fibres in synthetic materials, it is necessary to perform a rather complicated solvent exchange to ensure satisfactory drying results [xi]. Another option is MFC products with higher consistency levels. According to a press release of January 2013, BASF and ZELFO Technology have signed an agreement on the transfer of IP rights for the latest ZELFO technology enabling the efficient and cost-effective production of microfibrillated cellulose at significantly higher consistency levels.

Papiertechnische Stiftung PTS,  
D-80797 Munich,  
www.ptspaper.de,  
At Zellcheming: 20 Foyer EG

- i SAKURADA I., NUKUSHINA Y. and ITO T.  
Experimental determination of the elastic modulus of crystalline regions in oriented polymers  
*Journal of Polymer Science* 57 (165) (1962), 651–660.
- ii TASHIRO K. and KOBAYASHI M.  
Theoretical evaluation of 3-dimensional elastic constants of native and regenerated celluloses – role of hydrogen bonds.  
*Polymer* 32 (8) (1991), 151–1530.
- iii F. Tanaka and T. Iwata  
Estimation of the Elastic Modulus of Cellulose Crystal by Molecular Mechanics Simulation  
*Cellulose* 13 (5), pp. 509–517, (2006)
- iv TURBAK A.F., SNYDER F.W. and SANDBERG K.R.  
Microfibrillated cellulose, a new cellulose product: Properties, uses, and commercial potential  
*Journal of Applied Polymer Science* 37, Applied Polymer Symposium, 815–827 (1983) No. 9.
- v PÄÄKKÖ M., ANKERFORS M., KOSONEN H., NYKÄNEN A., AHOLA S., ÖSTERBERG M., RUOKOLAINEN J., LAINE J., LARSSON P.T., IKKALA O. and LINDSTRÖM T.  
Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels.  
*Biomacromolecules*, 8(6), pp. 1934–1941, (2007)
- vi Syverud K., Chinga-Carrasco G., Toledo J., Toledo P.  
A comparative study of Eucalyptus and Pinus radiata pulp fibres as raw materials for production of cellulose nanofibrils  
*Carbohydrate Polymers* 84 (2011) 1033–1038.
- vii Lindström, T. and Aulin, C.  
Biopolymer coatings for paper and board  
*Bipolymers*, 255–276 (2011), Ed. By Plackett, D
- viii Liimatainen H., Visanko M., Sirvio J., Hormi O. and J. Niinimäki  
Enhancement of the Nanofibrillation of Wood Cellulose through Sequential Peroxide-Chlorite Oxidation  
*Biomacromolecules* 13 (5), pp. 1592–1597 (2012)
- ix WEIGL J., WEIGL C.  
Fallbeispiele zum Additiveinsatz  
Optimierung der Streichtechnik Teil 3: Herstellung und Beurteilung von Streichfarben  
PTS MS 659 (2006)
- x BIRKERT O., HAMERS E., KRUMBACHER E., SCHACHTL M., GANE P.A.C., GERTEISER N., RIDGWAY C.J., FRÖHLICH U., TIETZ M.  
Curtain Coating of pigment coats  
*Professional Papermaking* 2, pp. 56–71, (2006)
- xi C. Eyholzer, N. Bordeanu, F. Lopez-Suevos, D. Rentsch, T. Zimmermann, K. Oksman  
Preparation and characterization of water-redispersible nanofibrillated cellulose in powder form  
*Cellulose* 17(1), pp. 19–30 (2010)