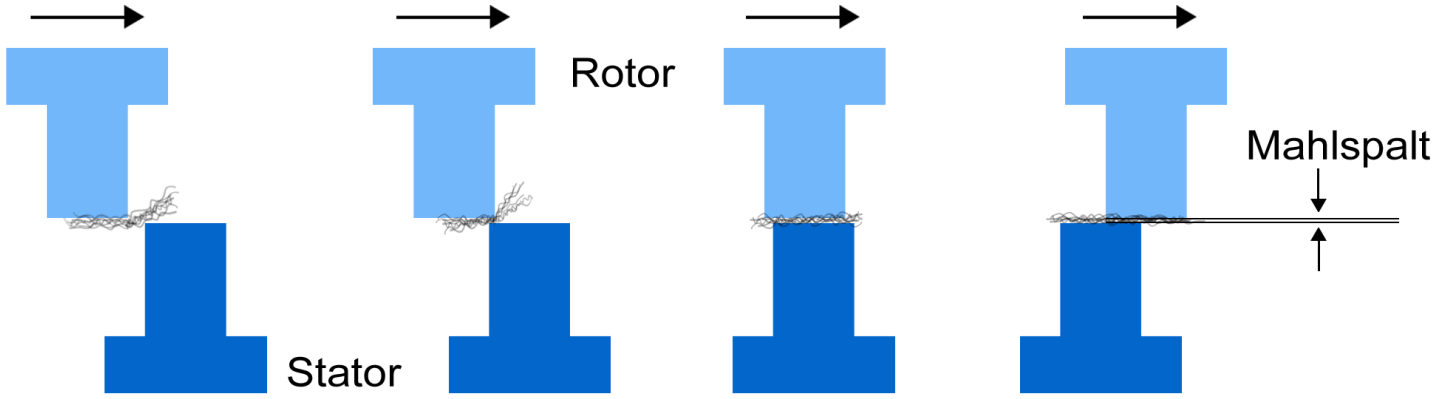
Der Einfluss der Messerbreite auf Messerkräfte und Faserkürzung bei der Zellstoffmahlung

Richard J. Kerekes
University of British Columbia
Canfor Pulp Ltd.

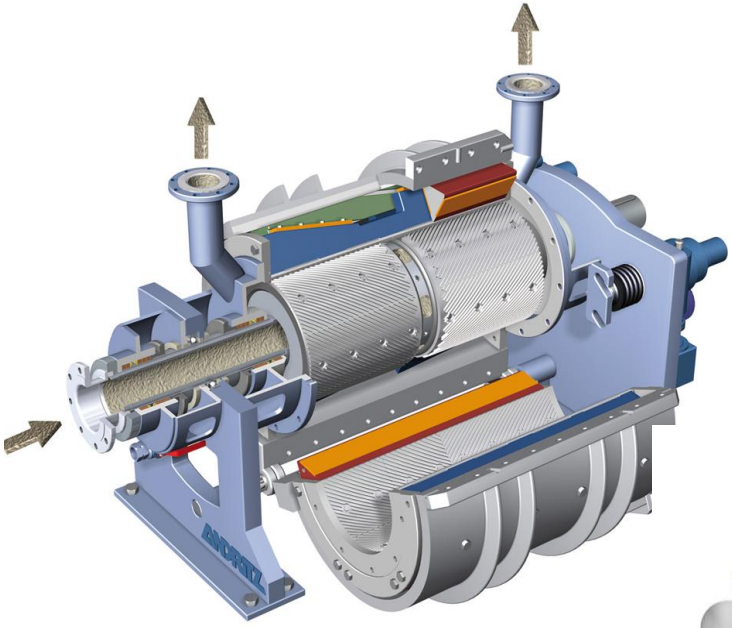
Frank P. Meltzer
Mercer International

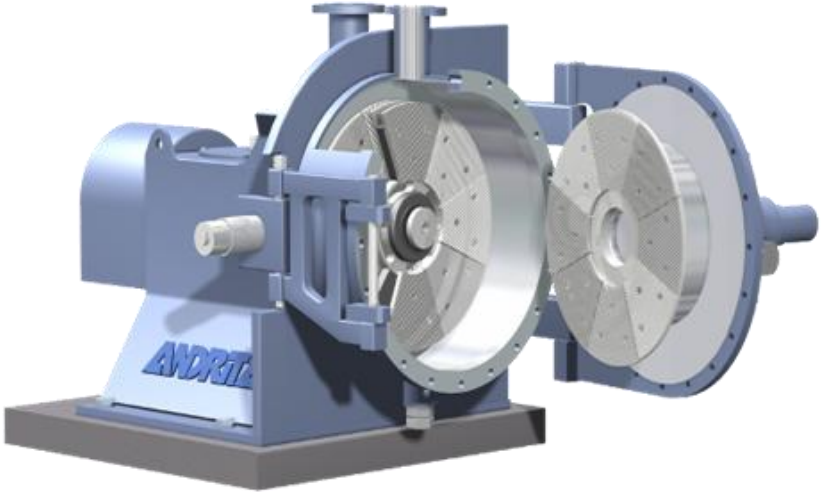
Messer-zu-Messer: Das vorherrschende Prinzip der Faserbehandlung

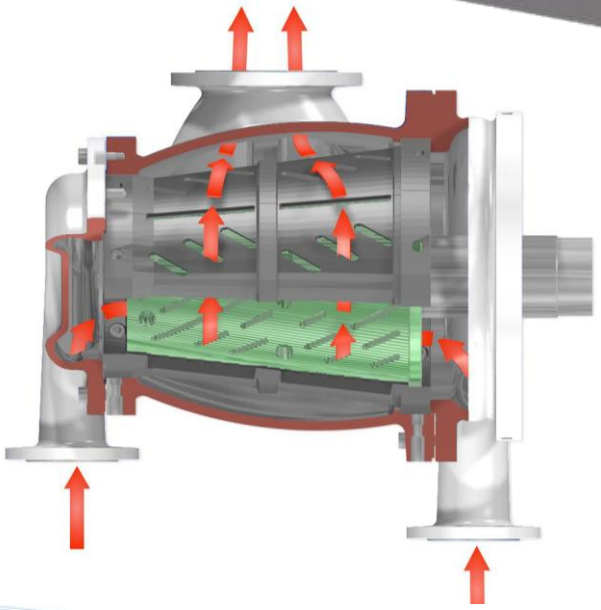
- Die Fasern werden von der Rotorkante erfasst und zwischen die beiden Messerflächen eingezogen
- Der Mahlspalt liegt in der Größenordnung von ca. 50 bis 150 µm
- Mechanische Kräfte verursachen die Mahleffekte



Moderne Refiner

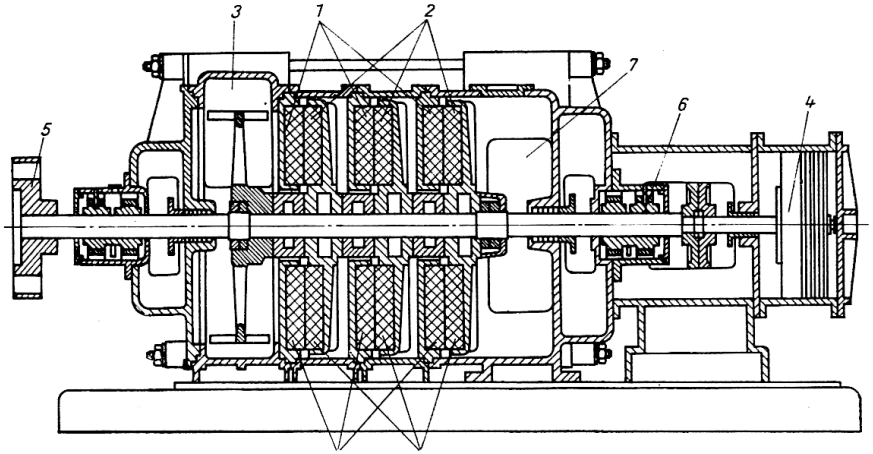




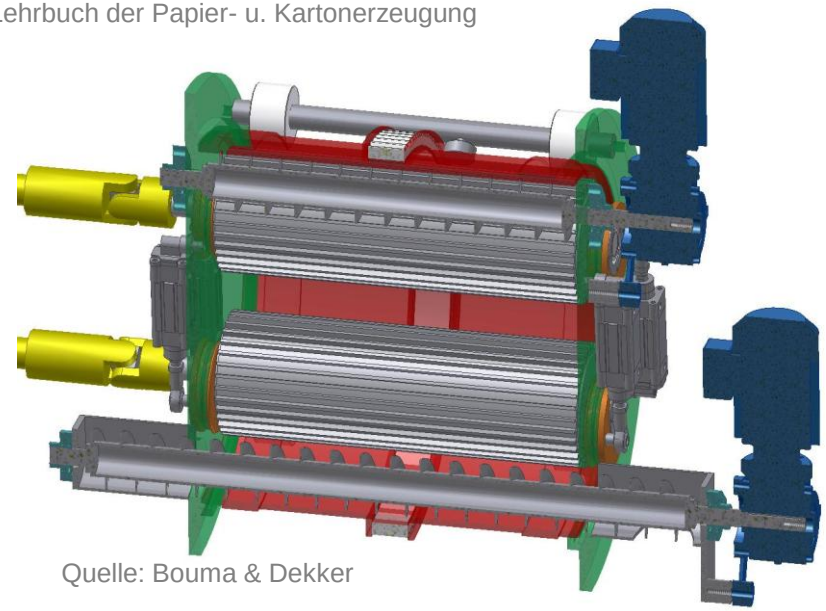


Quelle: Valmet, Andritz

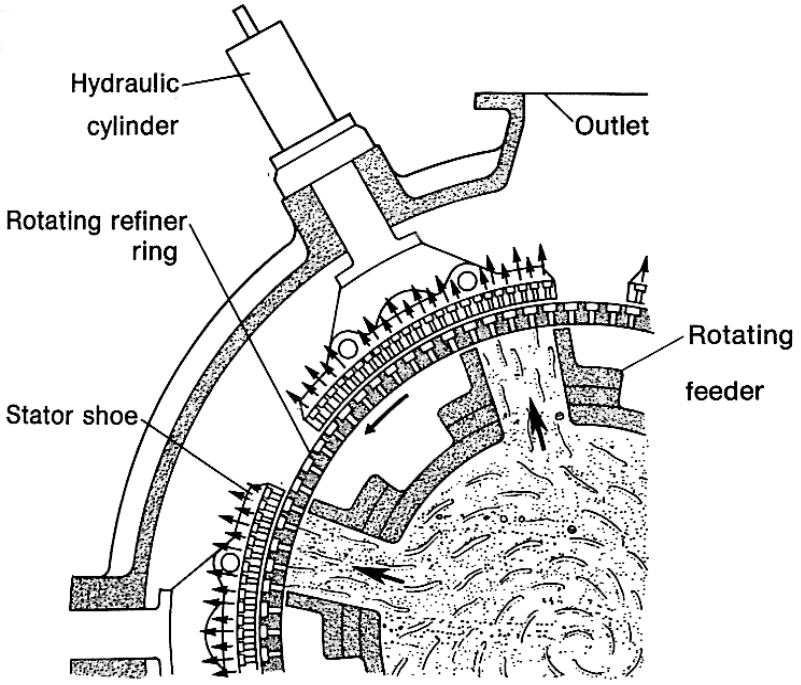
Unkonventionelle Mahlaggregate



Quelle: Lehrbuch der Papier- u. Kartonerzeugung



Quelle: Bouma & Dekker



Quelle: James d'A. Clark – Pulp Technology

PTS FIBRE based solutions

Zeittafel – Theoretische Betrachtung der Mahlung

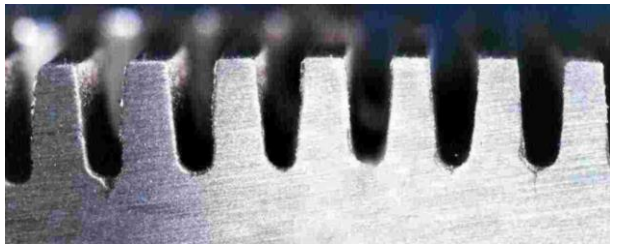
Jahr		Beitrag zum Verständnis des Mahlprozesses	Faser	Prozess	Maschine
2011	Heymer et al	Heterogenität bei der Mahlung	●	●	●
2011	Kerekes	Vorhersage von Kräften zwischen den Messern		●	●
2010	Kerekes	Funktion von Kraft und Energie bei der Mahlung	●	●	●
2009	Roux et al	Normalkraft pro Messerkreuzungspunkt			●
2007	Goosen et al	Heterogenität bei der Kompressionsmahlung	●	●	
2006	Kerekes & Senger	Kraft basierte Charakterisierung	●	●	●
1994	Meltzer	Modifizierte Kantenbelastung		●	●
1990	Lumiainen	Spezifische Flächenbelastung		●	●
1990	Kerekes	C-Factor: Häufigkeit und Intensität der Faserbehandlung	●	●	●
1986	Joris	Variation und Geschwindigkeit der Kreuzungspunkte			●
1981	Stevens			●	●
1978	Kline			●	●
1977	Leider & Nissan	Häufigkeit und Intensität der Faserbehandlung	●	●	●
1969	Danforth	Häufigkeit und Intensität der Faserbehandlung		●	●
1966	Brecht & Siewert	Spez. Kantenbelastung/spez. Arbeitsbedarf		●	●
1964	Van Stiphout	Wahrscheinlichkeit der Faserbehandlung		●	●
1958	Wultsch & Flucher	Mahlintensität: Mahlleistung pro. sek. Kantenlänge		●	●
1927	Milne				●
1922	Smith	Fibrage theory	●		●
1907	Pfarr				●
1906	Kirchner				●
1887	Jagenberg	Sek. Kantenlänge, Mahlfäche/Mahldruck			●

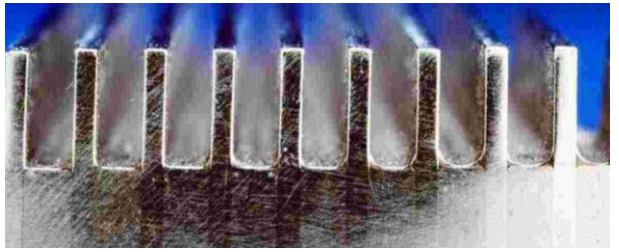
berücksichtigte Parameter

PTS FIBRE based solutions

Warum beschäftigen wir uns heute mit der Messerbreite?

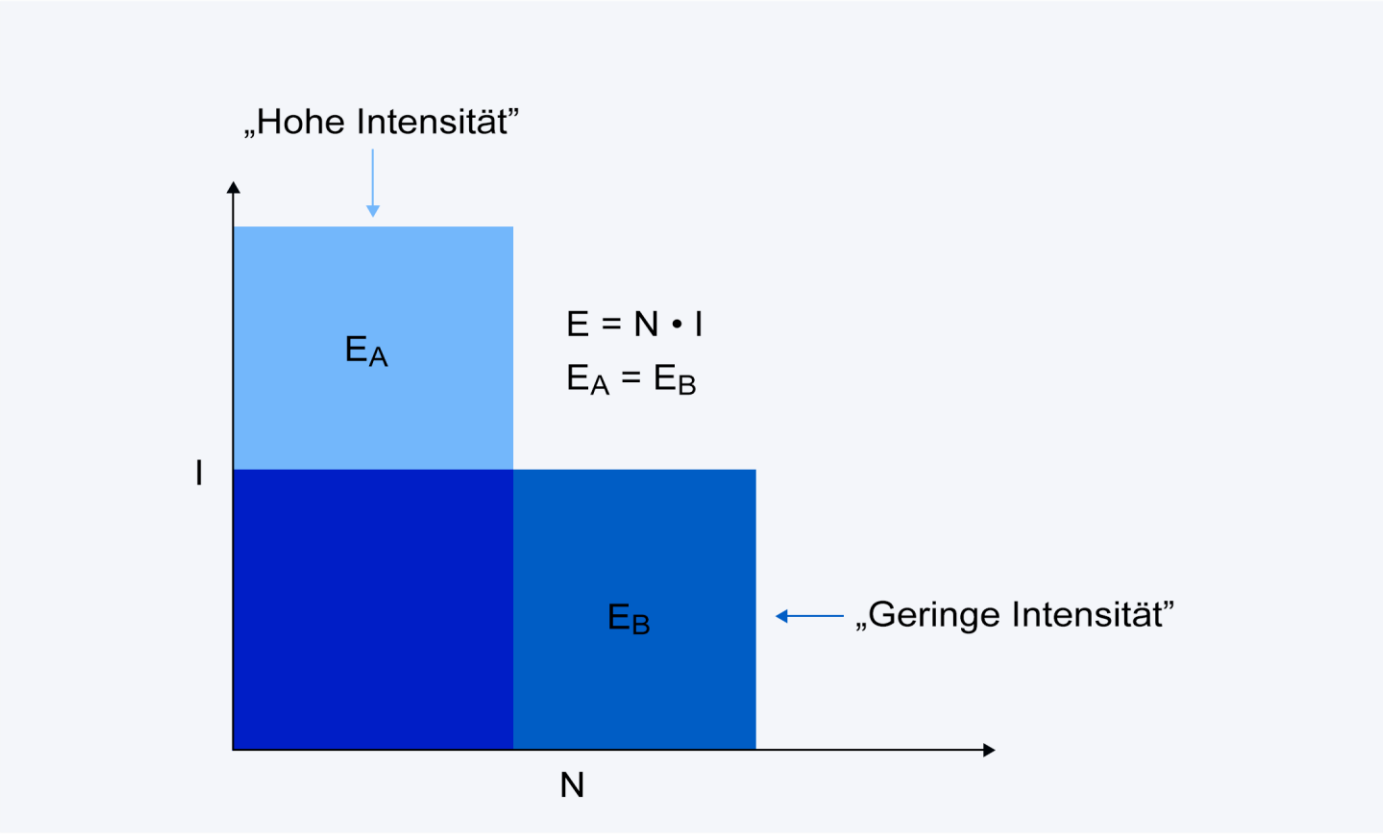
- Allgemein gilt: eine geringere Mahlintensität führt zu besseren Festigkeiten
- Bei herkömmlichen Garnituren geht eine geringere Mahlintensität zu Lasten der Refinerauslastung und erfordert zusätzliche Refiner zur Übertragung der erforderlichen spezifischen Mahlenergie.
- Bei den Marktzellstoffen hat die Kurzfaser die Langfaser als wichtigsten Rohstoff abgelöst und den Bedarf für eine schonende Mahlung weiter forciert.
- Neue Fertigungsverfahren erlauben immer schmalere Messer, folglich mehr Kantenlänge und somit geringere Mahlintensitäten bei gleichzeitig besserer Refinerauslastung.
- Die neuen Garnituren werden auch vermehrt für Langfaserzellstoffe verwendet.





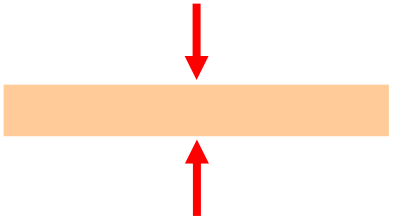
Quelle: AFT

Die spezifische Mahlenergie *E* ist die gebräuchlichste Mess-größe zur quantitativen Beschreibung des Mahlprozesses



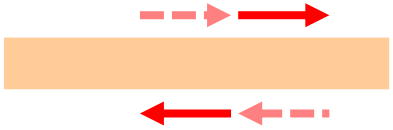
Bei gleicher Mahlenergie *E* führen Kombinationen von Häufigkeit *N* und Intensität *I* der Faserbehandlung zu unterschiedlichen Mahleffekten

Kräfte und die resultierenden Mahleffekte



Kompression

Interne Fibrillierung



Scherung

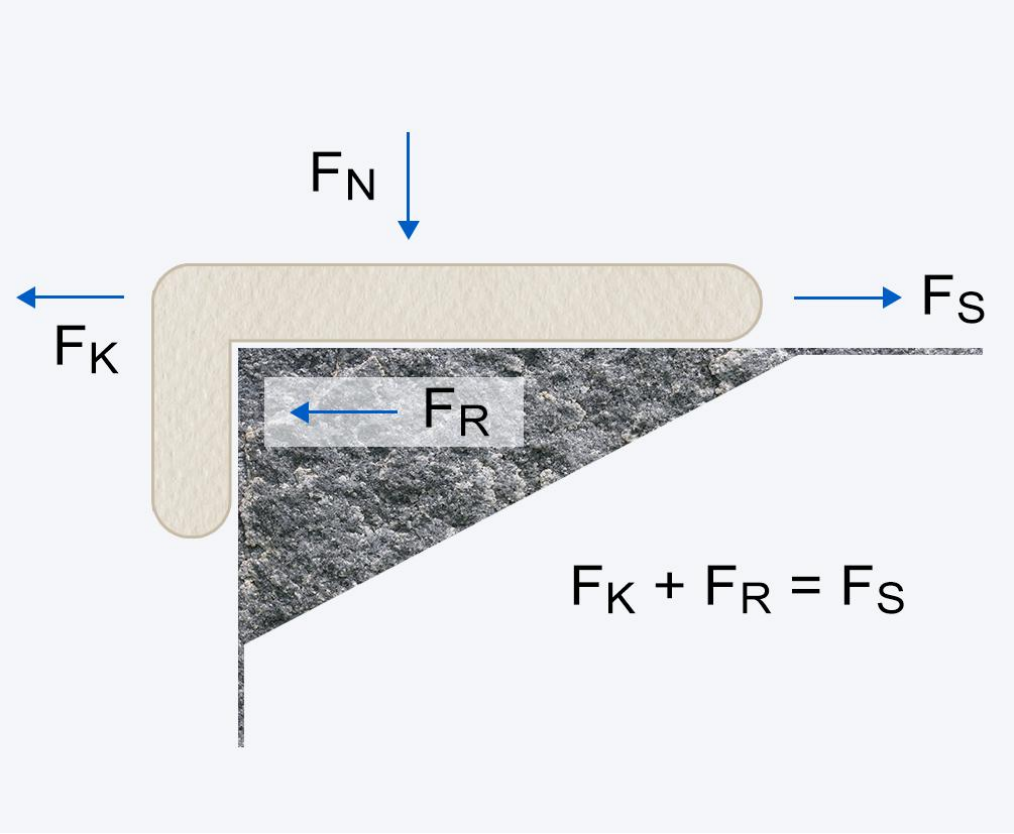
Externe Fibrillierung
Feinstofferzeugung

Zugbeanspruchung

Faserkürzung
Faserstreckung

Quelle: Kerekes & Senger (2006)

Bedeutung von Kantenausprägung und Oberflächenstruktur



Quelle: Batchelor et al (1997)

Die Herleitung der Spezifischen Kantenbelastung *SEL*

$$SEL = \frac{P}{BEL \cdot \omega} \qquad (1)$$

Die Summe aller Messerkreuzungen pro Umdrehung beträgt $n_s \cdot n_r$

Wenn wir die Messerdichte n einführen, und dasselbe Design für Rotor und Stator voraussetzen, ergibt sich $n_s = n_r = 2\pi r n$

$$BEL = \int_{R_1}^{R_2} 4\pi^2 n^2 r^2 dr = 4\pi^2 n^2 \frac{R_2^3 - R_1^3}{3} \qquad (2)$$

$E_b dr$ mit $E_b = T \cdot \theta$ und $T = F \cdot r$ und $\theta = \frac{a}{r}$ ergibt sich $E_b = F \cdot a$

$$E_b dr = F \cdot s dr \quad => \quad dE = E_b 4\pi^2 r^2 n^2 dr \qquad (3)$$

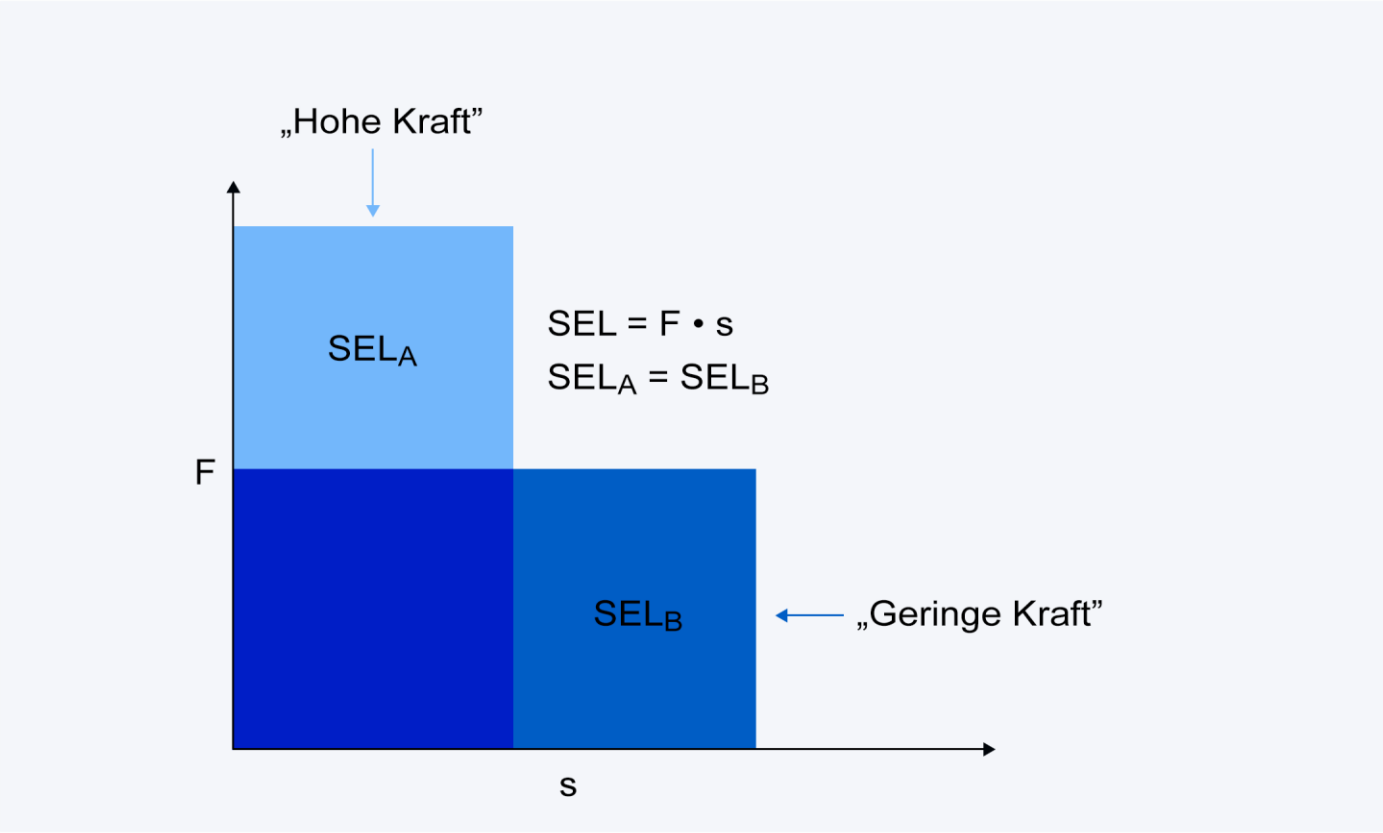
$$dP = E_b 4\pi^2 n^2 r^2 \omega dr \qquad (4)$$

$$E_b = \frac{P}{BEL \cdot \varpi} \qquad E_b = SEL \quad => \quad F = \frac{SEL}{s} \qquad (5)$$

Quelle: Kerekes & Senger (2006)

PTS FIBRE based solutions

Die spezifische Kantenbelastung *SEL* ist die bekannteste Kennzahl zur Beschreibung der Mahlintensität



SEL entspricht der Energie, *F* ist die Kraft pro Messerlänge in Richtung der Messerbewegung und *s* entspricht der Wirklänge der Kraft.

Druck als Maß für die Intensität

Ausgehend von dem zuvor abgeleiteten Zusammenhang zwischen der spezifischen Kantenbelastung *SEL*, der Kraft *F* und der Länge der Krafteinwirkung *s*, kann auch der Druck *p*, der auf eine Messeroberfläche wirkt, abgeschätzt werden.

$$p = \frac{SEL}{\mu_r \cdot s^2}$$

Die aus diesem stark vereinfachten Ansatz abgeleiteten Drücke decken sich recht gut mit experimentellen Ergebnissen (2 - 4 MPa) aus der Literatur wie Nordman et al (1981) und Goncharov (1971).

Druck ist hilfreich, um interne Fibrillierung zu beschreiben. Zugkraft ist jedoch der entscheidende Faktor für Faserkürzung

Der Einfluss der Messerbreite auf die Kraftübertragung

Wenn das Messer breiter als die Faser lang ist, wird der überwiegende Teil der Kraft ungefähr über die Länge einer Faser, gemessen von der Vorderkante des Messers, übertragen (Goncharov 1971). Somit wird *s* maßgeblich über die Faserlänge definiert.

Aber was passiert, wenn die Messerbreite geringer als die Faserlänge ist?

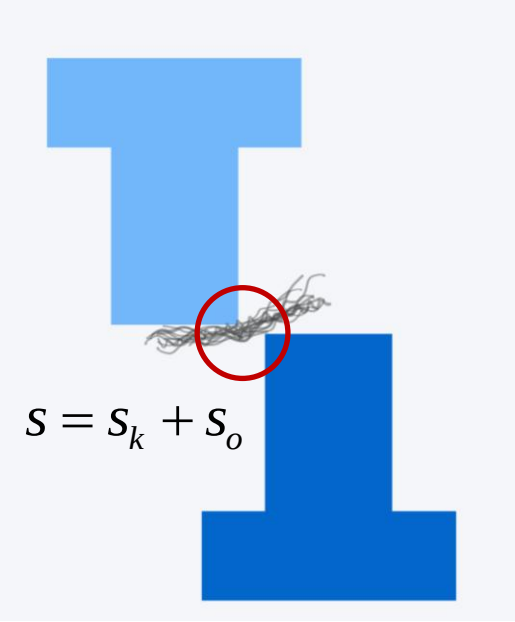
Wenn das Messer schmaler als die Faser lang ist, wird die Wirklänge *s* von der Messerbreite bestimmt. Im Extremfall, die Messerbreite ist Null, wirken die sich kreuzenden Messer wie eine Schere.

Definition der Wirklänge *s*

Der Beitrag der vor dem Überstreichen von Rotor und Stator von der Messerkante erfassten Fasern zur Wirklänge *s* muss berücksichtigt werden.

Die Wirklänge *s* setzt sich aus einem Teil s_o auf der Messeroberfläche und einem Teil s_k, der durch „Pflügen“ der Messerkante entsteht, zusammen.

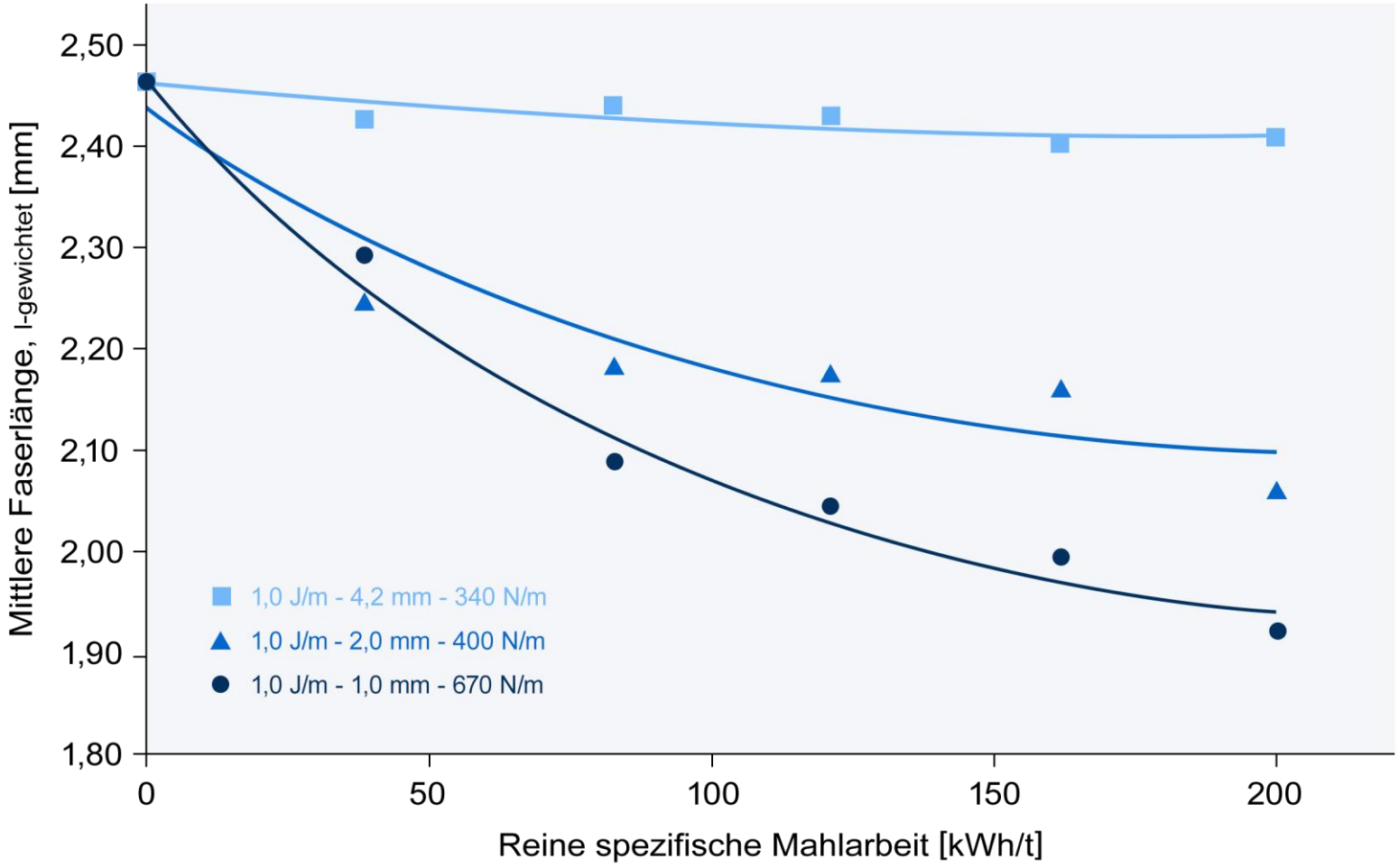
Aus Massenbilanz: $Cl^2 = 0.2 s_k l$ $s_k = 5Cl$



$s = l + 5C \cdot l$ wenn Messerbreite b > Faserlänge l

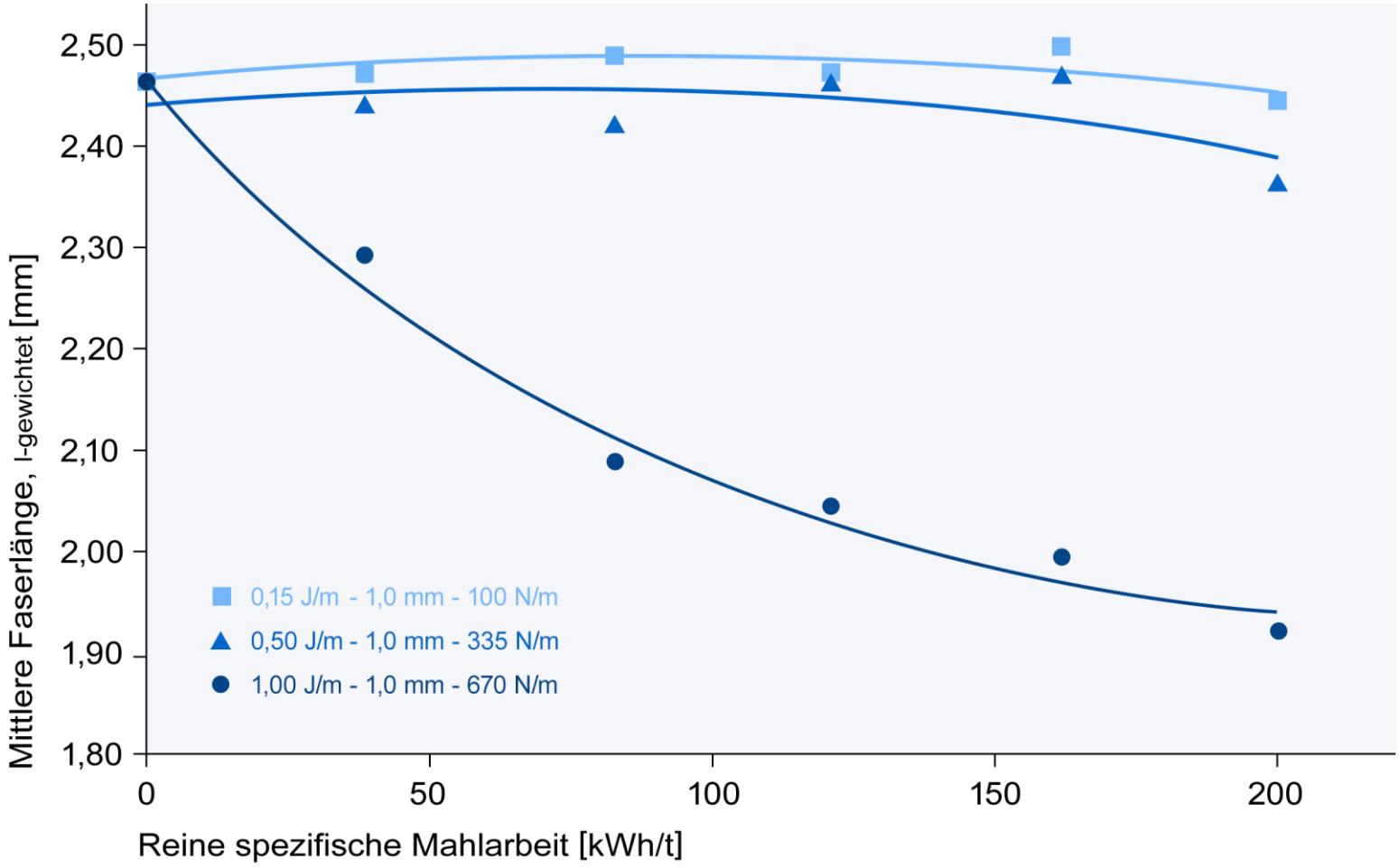
$s = b + 5C \cdot l$ wenn Messerbreite b < Faserlänge l

Variation der Messerbreite bei konstanter spezifischer Kantenbelastung



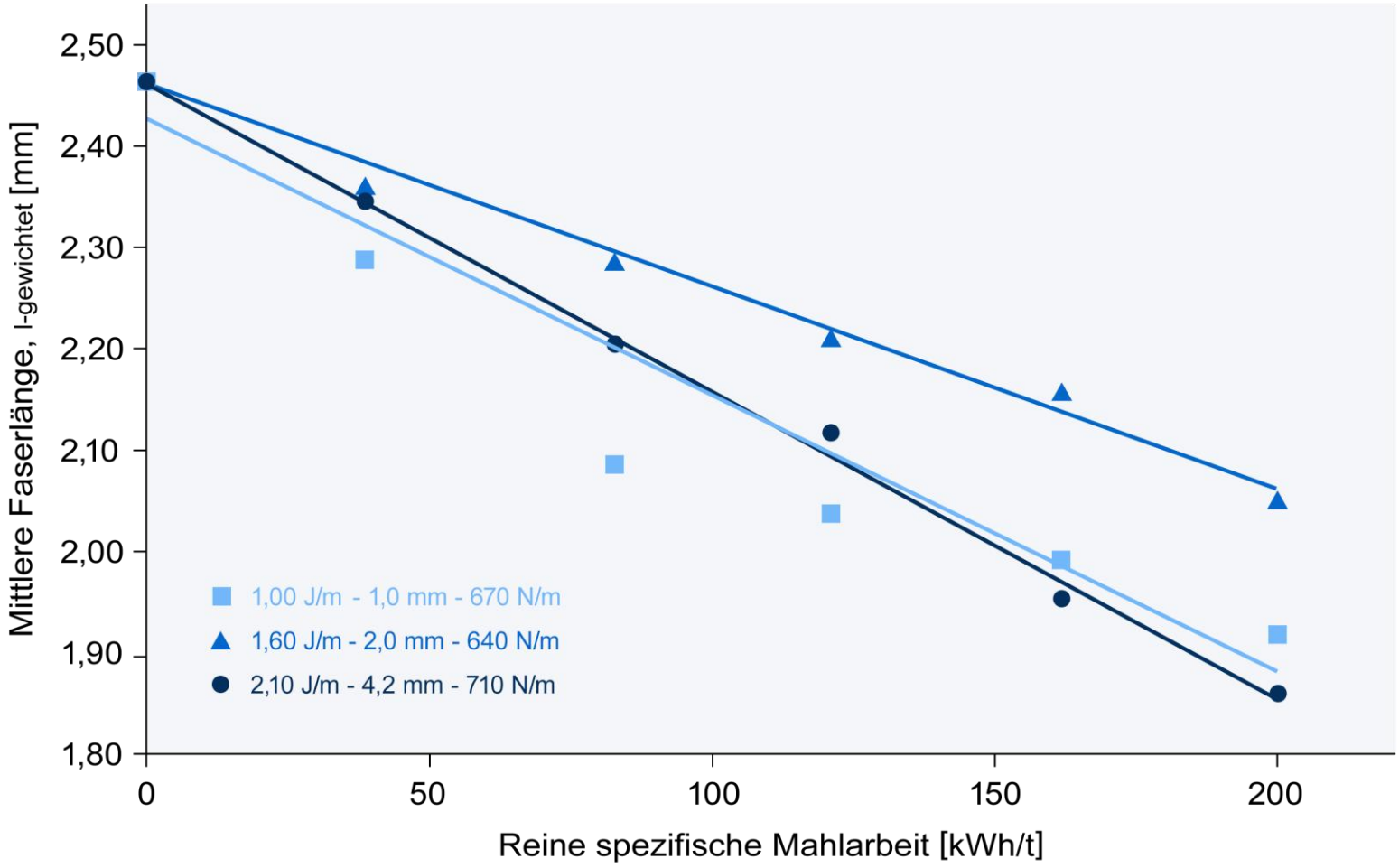
PTS FIBRE based solutions

Variation der spezifischen Kantenbelastung bei konstanter Messerbreite

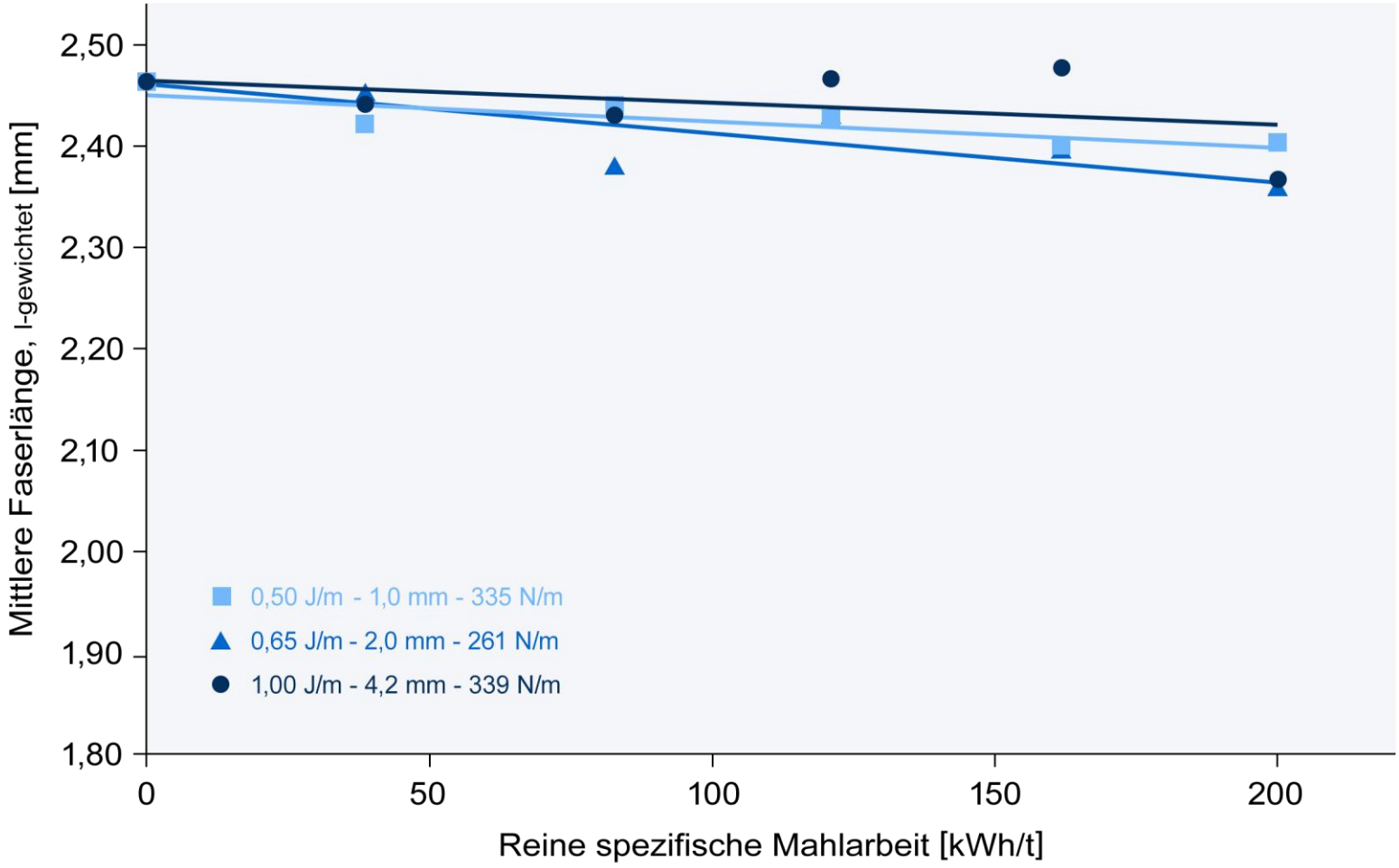


PTS FIBRE based solutions

Konstante Kraft durch Anpassung der spezifischen Kantenbelastung als Funktion der Messerbreite

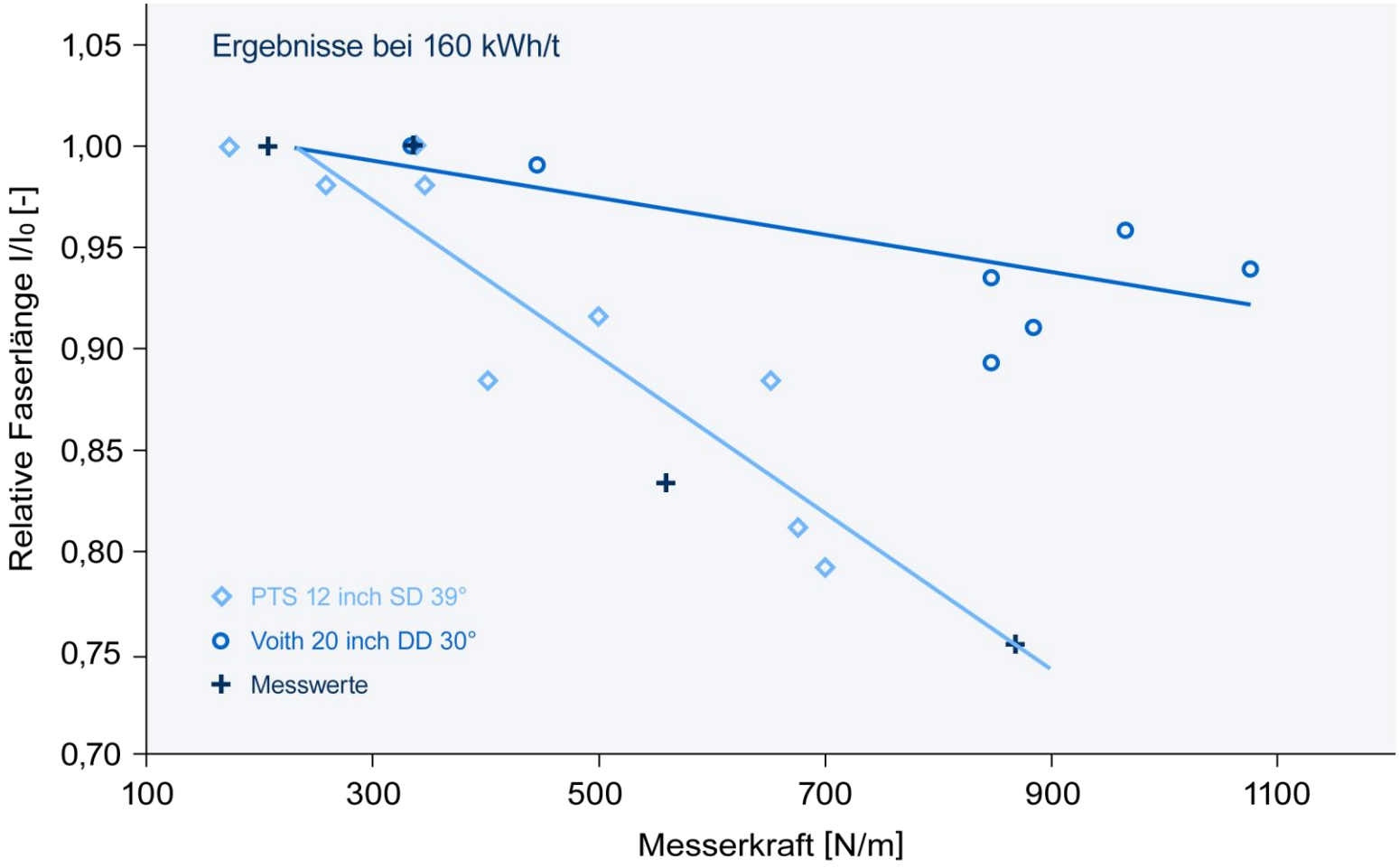


Konstante Kraft durch Anpassung der spezifischen Kantenbelastung als Funktion der Messerbreite



PTS FIBRE based solutions

Faserkürzung als Funktion der Messerkraft



Quelle: Berg et al (2015)

Zusammenfassung und Ausblick

- Die spezifische Kantenbelastung alleine reicht für den Fall, dass die Messerbreite geringer als die Faserlänge ist, nicht aus, um die Mahlintensität zu beschreiben.
- Die Messerkraft lässt sich auf einfache Weise aus der spezifischen Kantenbelastung berechnen. Sie ist ein hilfreicher Parameter, um Grenzwerte für die Intensität zu ermitteln, die die Faserkürzung bei gegebenen Mahlenergien begrenzen.
- Die Einfachheit der Kraftberechnung auf der einen und die Komplexität der zahlreichen Faktoren, die die Faserkürzung beeinflussen, auf der anderen Seite erlauben keine weiterreichenden Vorhersagen als die hier getroffenen.
- Der vorgestellte Ansatz ist jedoch vielversprechend, um weiterführende Untersuchungen zu rechtfertigen.