

# Einfluss von gemahlene Steinobstkernen auf die Eigenschaften von PLA-TPS-Compounds

Barbara Liedl, FH Oberösterreich Wels F&E GmbH, [barbara.liedl@fh-wels.at](mailto:barbara.liedl@fh-wels.at)

Christoph Burgstaller, FH Oberösterreich Wels F&E GmbH & Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH, [christoph.burgstaller@fh-wels.at](mailto:christoph.burgstaller@fh-wels.at) & [christoph.burgstaller@tckt.at](mailto:christoph.burgstaller@tckt.at)

Biologische Reststoffe können als Füll- und Verstärkungsstoffe in Kunststoffen Einsatz finden. Es wurde der Einfluss von gemahlene Pflaumen- und Kirschkernschalen als Füllstoff in Compounds aus Polymilchsäure (PLA) und Thermoplastischer Stärke (TPS) untersucht. Eine Versteifungswirkung zeigt sich im Ansteigen des E-Moduls, gleichzeitig sinkt jedoch die Duktilität der Compounds. Kernschalenmahlgut kann ein interessanter Zusatzstoff in Biokunststoffformulierungen für die Anpassung der Rezeptureigenschaften sein.

Stichworte: biologische Reststoffe, biobasierte Kunststoffe, Füllstoffe, Thermoplastische Stärke, Polymilchsäure

## 1 Einleitung

Kunststoffe werden häufig mit Füllstoffen versetzt, um ihre mechanischen Eigenschaften zu verbessern, ihren Preis oder ihr Gewicht zu verringern, oder auch um spezielle Eigenschaften wie z.B. elektrische Leitfähigkeit zu ermöglichen. Häufig in Kunststoffen eingesetzte Füllstoffe sind Fasern aus Glas oder Kohlenstoff, mineralische Füllstoffe wie Talkum oder Basalt, oder Füllstoffe organischen Ursprungs. Letztere haben vor allem in Sachen Preis und auch Dichte einen Vorteil gegenüber anorganischen Materialien. Außerdem sind biobasierte und bioabbaubare Verstärkungsstoffe für den Einsatz in Biopolymeren geeignet. <sup>1-6</sup>

Neben natürlich vorkommenden faserartigen Füllstoffen wie Hanf-, Kokos- oder Sisalfasern <sup>7,8</sup>, wird vor allem Holz als biobasierter Füllstoff in Kunststoffen eingesetzt <sup>9</sup>. Noch umweltfreundlicher und ressourcenschonender als Primärrohstoffe ist jedoch die Verwendung biologischer Rest- und Abfallstoffe, die ansonsten keine Anwendung finden würden, wie z.B. Abfälle aus der Lebensmittelherstellung. Darunter fallen beispielsweise Kerne und andere Rückstände von Gemüse und Früchten, deren ökonomischer Wert gering ist, und die bis zu 30% der Ausgangsmasse der verarbeiteten Früchte ausmachen können. <sup>10,11</sup>

Das in dieser Studie eingesetzte Schalenmahlgut fällt ebenso in diese Kategorie. Es handelt sich dabei um gemahlene Schalen von Obstkernen, hier von Kirsch- und Pflaumenkernen. Unter die wenigen industriellen Anwendungen für derartige Materialien fallen z.B. der Einsatz in kosmetischen Produkten oder als Schleif- und Strahlmittel. <sup>12</sup>

Auch wenn die Verwendung von Abfällen aus der Lebensmittelindustrie als Füll- und Verstärkungsmaterialien in Kunststoffen eher als Nischenanwendung gilt, wird in diesem Bereich definitiv geforscht. Häufig publiziert sind Untersuchungen zum Einsatz von Olivenkernen, welche in der Olivenölproduktion in großer Menge als Reststoff anfallen. Olivenkernmehl ist ein kostengünstiger Füllstoff, der auch den Zug- und Biege-E-Modul von PP oder PLA erhöhen kann<sup>13-15</sup>. Auch gemahlene Dattelkerne werden zur Herstellung von Composites mit HDPE, LDPE und PS eingesetzt<sup>16-18</sup>.

Der Einsatz von gemahlene Pfirsichkernen in Verbundplatten<sup>19</sup> wurde ebenso untersucht wie die Verbesserung von Reib- und Verschleißigenschaften von PP durch Zusatz von Kirsch kernpulver<sup>20,21</sup>. Eine andere Studie hat festgestellt, dass sowohl mit Kirsch- als auch Pfirsich kernpartikel in PP Composites mit Eigenschaften ähnlich der von PP-Compounds mit Holzpartikeln ergeben<sup>22</sup>. Die Eignung von gemahlene Kirsch kernern als Verstärkungsmittel für PP im Vergleich zu regulären Holzpartikeln wurde auch von Burgstaller und Renner untersucht<sup>23</sup>. Im Vergleich zu Holzpartikeln wiesen die gemahlene Kirschkerne weniger Verstärkungswirkung auf, dennoch konnte eine Erhöhung des E-Moduls erreicht werden, jedoch begleitet von niedrigeren Werten für Zug- und Schlagfestigkeit.

Die von uns untersuchte Kombination aus Polymilchsäure (PLA) und thermoplastischer Stärke (TPS) ist ein gängiger Blend für Kunststoffanwendungen unter anderem für Verpackungen. Im Vergleich zur PLA weist TPS nur sehr geringe mechanische Eigenschaften auf, kann jedoch deren Sprödigkeit verbessern. Ein weiterer Vorteil des Einsatzes von TPS ist neben ihrer guten Bioabbaubarkeit vorrangig der günstige Preis. PLA und TPS sind jedoch relativ schlecht mischbar. Um dennoch gute mechanischen Eigenschaften dieser Blends zu erreichen, werden sie oft kompatibilisiert oder durch Füllstoffe modifiziert.<sup>24-28</sup>

Das Ziel unserer Untersuchung war, vollständig biobasierte Compounds mit biologischen Reststoffen aus Pflaumen- und Kirsch kernschalen herzustellen, und dabei die Auswirkungen dieser Kernmahlgüter auf die Eigenschaften von PLA-TPS Blends (70/30 w/w) zu untersuchen.

## 2 Materialien & Methoden

### 2.1 Materialien

Die verwendete PLA war eine Spritzgusstype Ingeo™ 3051D von NatureWorks® (Plymouth, MA, USA). Als thermoplastische Stärke wurde Amitroplast 8945 von Agrana (Wien, AT) zur Verfügung gestellt. Beide Kerngranulate wurden vom Hersteller kern tec (Herzogenburg, AT) bereitgestellt. Es handelt sich bei den Kerngranulaten um gemahlene Schalen von Pflaumen- bzw. Kirsch kernern mit einer Korngröße von 0-500 µm laut Hersteller.

## 1.1 Methoden

Die PLA wurde vor der Verarbeitung im Trockenluft-Trockner (Luxor 120, Motan Group, Konstanz, DE) bei 60 °C für 4 h getrocknet. Die TPS und die Kerngranulate wurden verwendet wie erhalten.

Im gleichläufigen Doppelschneckenextruder (TSE 24 MC, ThermoFisher Scientific, Karlsruhe, DE) wurden mit einer Massetemperatur von 180 °C an der Düse und einem Durchsatz von 10 kg/h Compounds aus den Materialien hergestellt und im Wasserbad granuliert. Es wurde eine Compounderschnecke mit fünf Knetblöcken verwendet um eine gute Homogenisierung der Materialien zu erreichen. Die beiden Polymere wurden in der Einzugszone, das Kerngranulat mittels Sidefeeder gravimetrisch, zudosiert. Eine Übersicht aller in dieser Studie hergestellten Materialien ist in *Tabelle 1* gezeigt.

*Tabelle 1: Übersicht und Zusammensetzung der hergestellten Materialien.*

Bezeichnung	PLA [wt.%]	TPS [wt.%]	Pflaumenkern- granulat [wt.%]	Kirschkern- granulat [wt.%]
PLA-TPS	70	30	-	-
PLA-TPS-P5	66,5	28,5	5	-
PLA-TPS-P10	63	27	10	-
PLA-TPS-P20	56	24	20	-
PLA-TPS-K5	66,5	28,5	-	5
PLA-TPS-K10	63	27	-	10
PLA-TPS-K20	56	24	-	20

Die so hergestellten Granulate wurden für 4 h bei 60 °C in Trockenlufttrocknern vorgetrocknet und auf einer Spritzgussmaschine Victory 80 (Engel, Schwertberg, AT) zu Universalprüfkörpern (Typ A1 nach ISO 20753) spritzgegossen. Die gemessene Massetemperatur betrug für alle Compounds 185-190 °C, die Werkzeugtemperatur 25 °C.

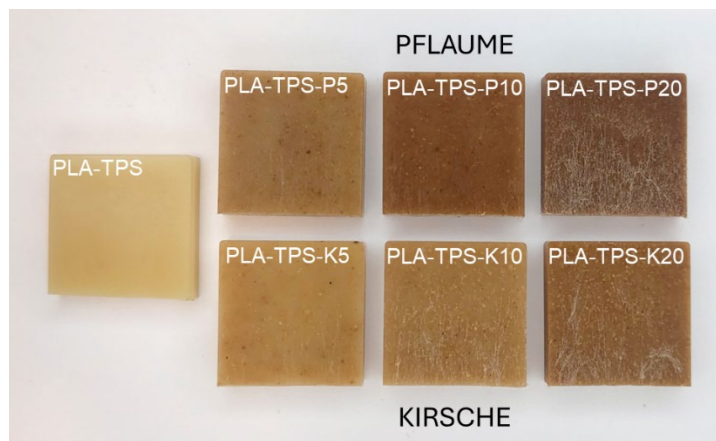
Vor den weiteren Prüfungen wurden die Universalprüfkörper bei Normklima (23 °C, 50 % r.h.) in einem Klimaschrank KBF 720 (Binder, Tuttlingen, DE) für mindestens 24 h gelagert.

Die Dichte wurde nach ISO-1183-1 auf einer Dichtewaage AX224 mit einem Dichtekit YDK01 (Sartorius, Göttingen, DE) mit jeweils fünf Teilen der Universalprüfkörper bestimmt. Die Zugeigenschaften wurden auf einer 20 kN Universalprüfmaschine Z020 (Zwick-Roell, Ulm, DE) mit je fünf Wiederholungen nach ISO-527-2 gemessen. Der E-Modul wurde mit einer Prüfgeschwindigkeit von 1 mm/min in den ersten 0,25 % der Dehnung gemessen, danach wurde die Geschwindigkeit auf 50 mm/min bis zum Bruch der Proben erhöht. Die Prüfkörper für Schlagzähigkeit nach Charpy mit einer Größe von

80x10x4 mm wurden aus Universalprüfkörpern ausgestanzt. Es wurden je 10 Prüfkörper nach ISO-179-1 auf einem Pendelschlagwerk 5113.300 (Zwick-Roell, Ulm, DE) geprüft. Die Schmelzefließrate (MFR) wurde auf einem Fließprüfgerät 4106 (Zwick-Roell, Ulm, DE) in Doppelbestimmung am Granulat nach ISO-1133-1 gemessen. Die Proben wurden davor in einem Vakuumtrockenschrank VD 115 (Binder, Tuttlingen, DE) für 4 h bei 60 °C getrocknet. Mikroskopiebilder von Querschnitten durch Universalprüfkörper wurden mit einem Stereomikroskop Stemi 2000-C (Zeiss, Oberkochen, DE) in 25-facher Vergrößerung aufgenommen. Probenstücke wurden dafür in Expoxidharz eingebettet und mit Siliziumkarbid-schleifplatten glatt geschliffen.

### 3 Ergebnisse & Diskussion

Die Herstellung der Compounds mit 5, 10 und 20 % Kerngranulaten im Compounder war für beide Materialien, Pflaumen- und Kirschkern problemlos möglich. Durch Zugabe der Kerne wurden die Compounds zähflüssiger (abzulesen am mit dem Füllstoffgehalt steigenden Drehmoment) und die Farbe dunkler. *Abbildung 1* zeigt eine Übersicht der hergestellten Proben nach dem Spritzguss. Die sich an der Oberfläche bildenden Schlieren, die vor allem bei höheren Kerngehalten zu sehen sind, rühren wahrscheinlich von flüchtigen Bestandteilen, etwa der Feuchtigkeit, im Material her. Eine wesentlich höhere Trocknungstemperatur als die angewandten 60 °C ist aufgrund der Klebeneigung der PLA bei höheren Temperaturen nicht zielführend. Andere Trocknungsvarianten wurden aufgrund der fehlenden Anwendbarkeit im industriellen Umfeld nicht angedacht.

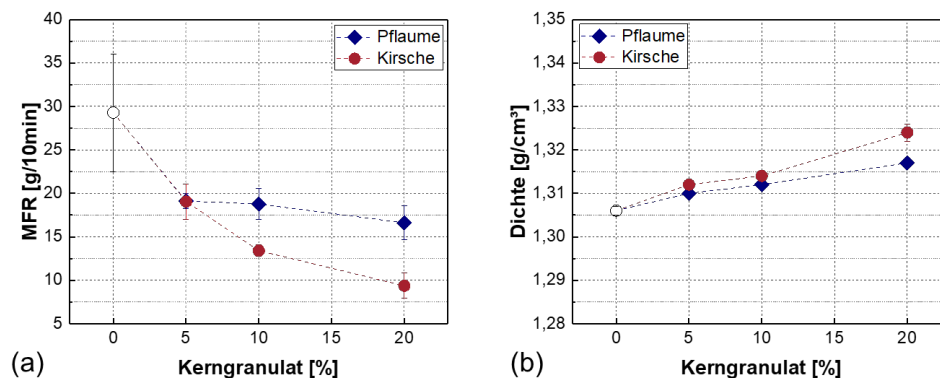


*Abbildung 1: Übersicht der hergestellten Compounds (Schulterabschnitte von Universalprüfkörpern Typ A1 nach ISO 20753, ca. 20x20 mm<sup>2</sup>).*

Die Auftragung aller folgenden Ergebnisse erfolgt gegenüber Gewichtsprozent, da diese direkt mit den hergestellten Rezepturen korrelierbar sind. Zudem sind die Dichten der Matrixmaterialien und der Kerngranulate sehr ähnlich, weswegen eine Umrechnung zu Volumsprozent kaum eine Änderung darstellt. Die Schmelzefließrate, gezeigt in *Abbildung 2* (a), bestätigt die Beobachtung im Compoundierprozess. Mit steigendem

Anteil an Kerngranulat sinkt die Fließfähigkeit des Materials, von ca. 30 g/10 min ohne Kerngranulate, auf 10 g/10 min mit 20 % Kirsch- und auf 17 g/10 min mit 20 % Pflaumenkerngranulat.

Die Ergebnisse der Dichtemessung in *Abbildung 2* (b) zeigen einen minimalen, kontinuierlichen Anstieg mit steigendem Kerngranulatanteil, wobei das Kirschgranulat eine etwas höhere Dichte aufweist als das Pflaumenkerngranulat. Der Gesamteinfluss der Zugabe der Kerngranulate auf die Dichte ist jedoch äußerst gering.



**Abbildung 2:** Schmelzefließrate (a) und Dichte (b) der untersuchten Compounds in Abhängigkeit vom Füllstoffgehalt, ohne und mit 5, 10 und 20 % Pflaumen- und Kirschgranulaten. Die Datenpunkte stellen Mittelwerte dar, die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an. Verbindungslinien dienen nur der besseren visuellen Zuordnung und stellen keine Interpolation dar.

Die Ergebnisse der mechanischen Prüfung sind in *Abbildung 3* gezeigt. Durch die Zugabe von Kerngranulat zum PLA-TPS Blend kann eine Erhöhung des E-Moduls (a) erreicht werden. Der Anstieg erfolgt annähernd linear mit dem Anteil an Kerngranulat, was durch die höheren E-Moduln der beiden Kernmaterialien zu erwarten ist. Im Vergleich zur ungefüllten PLA-TPS mit einem E-Modul von 3707 MPa kann mit 20 wt.% Pflaumenkerngranulat eine Erhöhung des E-Moduls um 13 %, und mit 20 wt.% Kirschgranulat um über 17 % erreicht werden. Während es durch die Zugabe des Kerngranulats zu einer Erhöhung des E-Moduls kommt, sinkt die Zugfestigkeit (b) in ähnlichem Ausmaß mit dem Füllstoffgehalt, was auf eine geringe Anbindung der Kernpartikel an der Grenzfläche zwischen Matrix und Partikel hinweist. Ein ähnlicher Trend ist für die Bruchdehnung (c) zu erkennen, und die Unterschiede zwischen den beiden Kerngranulaten sind minimal. Die Schlagzähigkeit (d) sinkt durch Zugabe von Kerngranulaten ab 5 wt.% von 6,5 kJ/m² für reine PLA-TPS weiter ab. Der Trend ist nicht so eindeutig wie beim Zugversuch, da auch die Standardabweichung der Proben im Vergleich höher ist. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kerngranulaten ist somit nicht festzustellen.

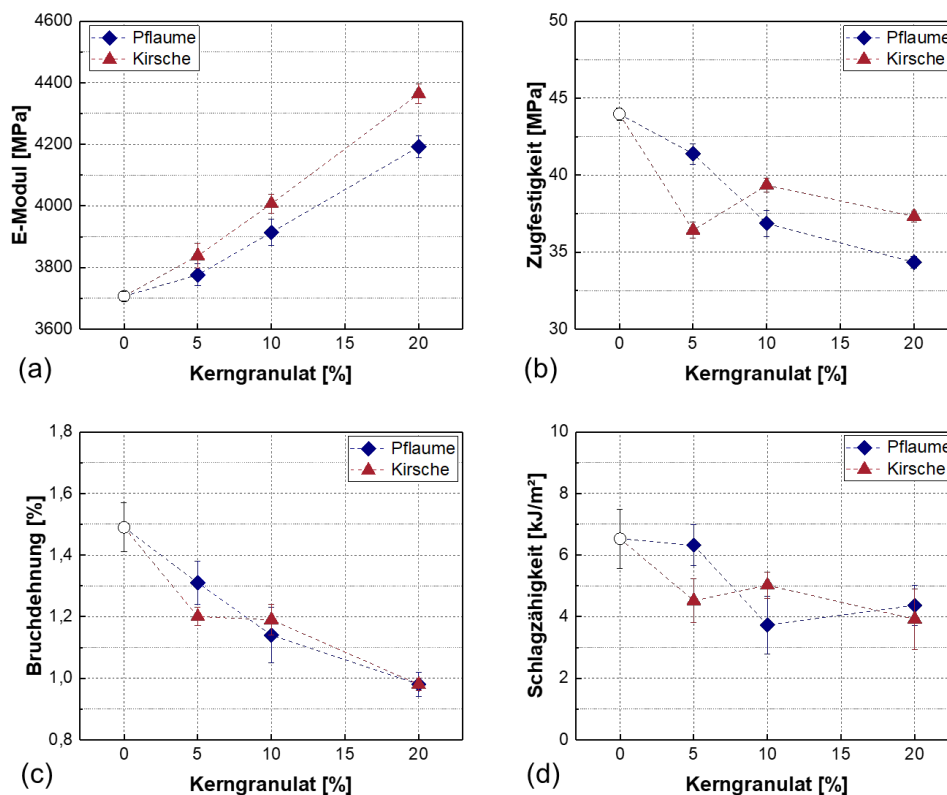
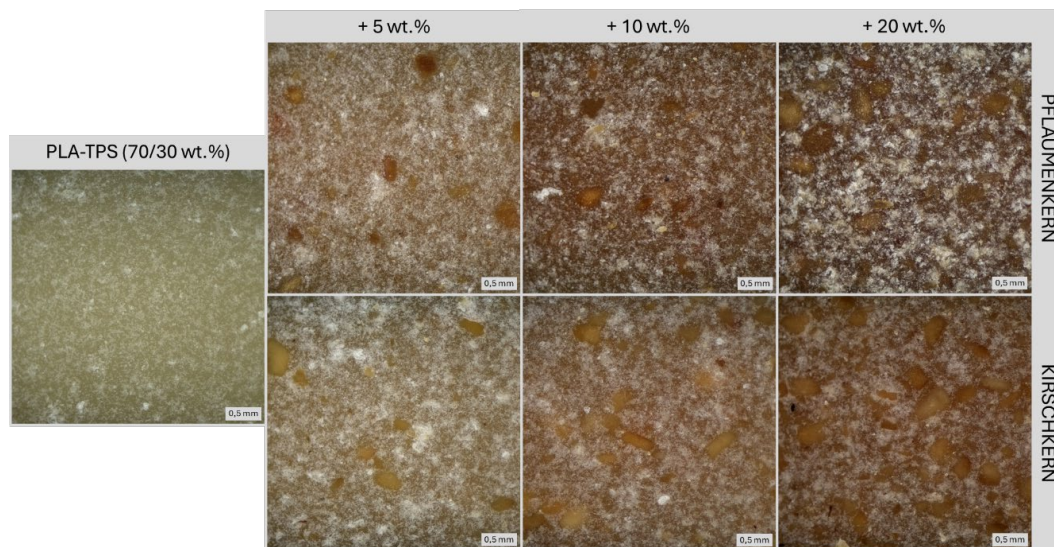


Abbildung 3: E-Modul (a), Zugfestigkeit (b), Bruchdehnung (c) und Schlagzähigkeit (d) der untersuchten Compounds in Abhängigkeit vom Füllstoffgehalt, ohne und mit 5, 10 und 20 % Pflaumen- und Kirschkerngranulaten. Die Datenpunkte stellen Mittelwerte dar, die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an. Verbindungslinien dienen nur der besseren visuellen Zuordnung und stellen keine Interpolation dar.

Mikroskopieaufnahmen mit 25-facher Vergrößerung durch den Querschnitt der Prüfkörper sind in *Abbildung 4* gezeigt. Im Vergleich zur reinen PLA-TPS (70/30 w/w) Mischung sind in den mit Kernmahlgut verstärkten Proben Stücke des Mahlgutes zu erkennen. Da die Korngröße der Pflaumen- und Kirschkernschalen 0-500  $\mu\text{m}$  ist, sind die größeren Stücke mit bis zu einem halben Millimeter Größe gut erkennbar. Das Matrixmaterial selbst wirkt bei allen Proben inhomogen, auch bei der reinen PLA-TPS. Die begrenzte Mischbarkeit der beiden Polymere ist auf der Mikroskopieaufnahme der reinen PLA-TPS Mischung durch die klar erkennbaren helleren TPS-Partikel evident.



*Abbildung 4: Querschnitt der Universalprüfkörper der Compounds ohne und mit 5, 10 und 20 % Pflaumen- und Kirschkernegranulaten, 25-fache Vergrößerung. Der Maßstabsbalken entspricht 500 µm.*

#### 4 Zusammenfassung

Die Verwendung gemahlener Schalen von Pflaumen- und Kirschkernen als Füllstoff in Kunststoffen ist eine Möglichkeit, um biologischen Reststoffen einen ökonomischen Wert zu geben, und andererseits die Eigenschaften von Polymeren zu optimieren.

Die Zugabe von gemahlene Kernschalengranulaten zu PLA-TPS Blends zeigt, dass der E-Modul mit steigendem Füllstoffanteil linear ansteigt, während Festigkeit und Zähigkeit der Materialien abnehmen. Schon geringe Mengen des Mahlguts führen zu einer messbaren Erhöhung der Steifigkeit, was bei der Auslegung von Bauteilen aus PLA-TPS Blends helfen kann, geringere Wandstärken zu ermöglichen.

Zusätzlich zu den funktionalen Aspekten der Zugabe von gemahlene Pflaumen- und Kirschkerne Schalen kommt die optische Veränderung der Compounds, die durch den biologischen Füllstoff entsteht. Die Materialien sind durch die vollständig biobasierten Inhaltstoffe potenziell biologisch abbaubar und können zu einer Verbesserung der Ökobilanz von Kunststoffprodukten beitragen. Durch die Verwendung eines Stoffstroms, der ansonsten kaum einer Valorisierung zugeführt wird und als Abfall gilt, können neben CO<sub>2</sub> auch Kosten eingespart werden.

Zukünftige Entwicklungen sollen jedenfalls eine verringerte Korngröße sowie eine zusätzliche Kompatibilisierung zwischen den Füllstoffen und der Matrix in Betracht ziehen, um die mechanischen Eigenschaften noch deutlicher zu verbessern.

## Literatur

- (1) *Functional Fillers for Plastics*, 1. Repr.; Xanthos, M., Ed.; Wiley-VCH: Weinheim, 2007.
- (2) Wambua, P.; Ivens, J.; Verpoest, I. Natural Fibres: Can They Replace Glass in Fibre Reinforced Plastics? *Composites Science and Technology* **2003**, *63* (9), 1259–1264. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00096-4](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00096-4).
- (3) SaravanaKumar, M.; Kumar, S. S.; Babu, B. S.; Chakravarthy, Ch. N. Influence of Fiber Loading on Mechanical Characterization of Pineapple Leaf and Kenaf Fibers Reinforced Polyester Composites. *Materials Today: Proceedings* **2021**, *46*, 439–444. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.804>.
- (4) Sathees Kumar, S. Dataset on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Polyester Composites for Engineering Applications. *Data in Brief* **2020**, *28*, 105054. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.105054>.
- (5) Hubbe, M. A.; Lavoine, N.; Lucia, L. A.; Dou, C. Formulating Bioplastic Composites for Biodegradability, Recycling, and Performance: A Review. *BioRes* **2020**, *16* (1), 2021–2083. <https://doi.org/10.15376/biores.16.1.Hubbe>.
- (6) Oksman, K. Mechanical Properties of Natural Fibre Mat Reinforced Thermoplastic. *Applied Composite Materials* **2000**, *7* (5–6), 403–414. <https://doi.org/10.1023/A:1026546426764>.
- (7) Hasan, K. M. F.; Horváth, P. G.; Bak, M.; Alpár, T. A State-of-the-Art Review on Coir Fiber-Reinforced Biocomposites. *RSC Adv.* **2021**, *11* (18), 10548–10571. <https://doi.org/10.1039/D1RA00231G>.
- (8) Bourmaud, A.; Baley, C. Investigations on the Recycling of Hemp and Sisal Fibre Reinforced Polypropylene Composites. *Polymer Degradation and Stability* **2007**, *92* (6), 1034–1045. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.02.018>.
- (9) Chan, C. M.; Vandi, L.-J.; Pratt, S.; Halley, P.; Richardson, D.; Werker, A.; Laycock, B. Composites of Wood and Biodegradable Thermoplastics: A Review. *Polymer Reviews* **2018**, *58* (3), 444–494. <https://doi.org/10.1080/15583724.2017.1380039>.
- (10) Pascoalino, L. A.; Reis, F. S.; Prieto, M. A.; Barreira, J. C. M.; Ferreira, I. C. F. R.; Barros, L. Valorization of Bio-Residues from the Processing of Main Portuguese Fruit Crops: From Discarded Waste to Health Promoting Compounds. *Molecules* **2021**, *26* (9), 2624. <https://doi.org/10.3390/molecules26092624>.
- (11) Gowman, A. C.; Picard, M. C.; Lim, L.-T.; Misra, M.; Mohanty, A. K. Fruit Waste Valorization for Biodegradable Biocomposite Applications: A Review. *BioRes* **2019**, *14* (4), 10047–10092. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.Gowman>.
- (12) *Kern Tec GmbH*. <https://www.kern-tec.com/>. <https://www.kern-tec.com/> (accessed 2026-02-25).
- (13) Naghmouchi, I.; Mutjé, P.; Boufi, S. Olive Stones Flour as Reinforcement in Polypropylene Composites: A Step Forward in the Valorization of the Solid Waste from the Olive Oil Industry. *Industrial Crops and Products* **2015**, *72*, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.051>.
- (14) Jurado-Contreras, S.; Navas-Martos, F. J.; Rodríguez-Liébaná, J. A.; La Rubia, M. D. Effect of Olive Pit Reinforcement in Polylactic Acid Biocomposites on

- Environmental Degradation. *Materials* **2023**, *16* (17), 5816. <https://doi.org/10.3390/ma16175816>.
- (15) Valvez, S.; Maceiras, A.; Santos, P.; Reis, P. N. B. Olive Stones as Filler for Polymer-Based Composites: A Review. *Materials* **2021**, *14* (4), 845. <https://doi.org/10.3390/ma14040845>.
- (16) Ghazanfari, A.; Panigrahi, S.; Jr, L. T. Experiments on Production of Bio-Composite Plates from Pistachio Shells, Date Pits and HDPE. In *2005 CSAE 2005 Meeting*; 2005.
- (17) Marzouk, W.; Bettaieb, F.; Khiari, R.; Majdoub, H. Composite Materials Based on Low-Density Polyethylene Loaded with Date Pits: Mechanical and Thermal Characterizations. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* **2017**, *30* (9), 1200–1216. <https://doi.org/10.1177/0892705715618742>.
- (18) Alsewilem, F. D.; Binkhder, Y. A. Preparation and Characterization of Polymer/Date Pits Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* **2010**, *29* (11), 1743–1749. <https://doi.org/10.1177/0731684409337339>.
- (19) Wechsler, A.; Molina, J.; Cayumil, R.; Núñez Decap, M.; Ballerini-Arroyo, A. Some Properties of Composite Panels Manufactured from Peach (*Prunus Persica*) Pits and Polypropylene. *Composites Part B: Engineering* **2019**, *175*, 107152. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107152>.
- (20) Sydow, Z.; Wojciechowski, Ł.; Bula, K.; Gapiński, B.; Runka, T.; Wieczorowski, M. Tribological Behavior of Polypropylene-Based Composites Reinforced with Cherry Seed Powder under Lubrication Conditions. *Wear* **2025**, *564–565*, 205745. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2025.205745>.
- (21) Wojciechowski, Ł.; Sydow, Z.; Bula, K.; Gapiński, B. Friction and Wear of Polypropylene-Based Composites Reinforced with Cherry Seed Powder. *Tribology International* **2023**, *179*, 108177. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108177>.
- (22) Núñez-Decap, M.; Wechsler-Pizarro, A.; Vidal-Vega, M. Mechanical, Physical, Thermal and Morphological Properties of Polypropylene Composite Materials Developed with Particles of Peach and Cherry Stones. *Sustainable Materials and Technologies* **2021**, *29*, e00300. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00300>.
- (23) Burgstaller, C.; Renner, K. Feasibility of Cherry Pit Particles as a Natural Reinforcement in Polypropylene. *Macromol* **2023**, *3* (2), 303–313. <https://doi.org/10.3390/macromol3020019>.
- (24) Martínez Villadiego, K.; Arias Tapia, M. J.; Useche, J.; Escobar Macías, D. Thermoplastic Starch (TPS)/Polylactic Acid (PLA) Blending Methodologies: A Review. *J Polym Environ* **2022**, *30* (1), 75–91. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02207-1>.
- (25) Farshbaf Taghinezhad, S.; Mansourieh, M.; Abbasi, A.; Major, I.; Pezzoli, R. Improved Compatibilized Tps/Pla Blends: Effects of Singular and Binary Compatibilization Systems. SSRN 2025. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5107549>.
- (26) Dmitruk, A.; Ludwiczak, J.; Skwarski, M.; Makuła, P.; Kaczyński, P. Influence of PBS, PBAT and TPS Content on Tensile and Processing Properties of PLA-Based Polymeric Blends at Different Temperatures. *J Mater Sci* **2023**, *58* (4), 1991–2004. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-08081-z>.
- (27) Zaaba, N. F.; Ismail, H. A Review on Tensile and Morphological Properties of Poly (Lactic Acid) (PLA)/ Thermoplastic Starch (TPS) Blends. *Polymer-Plastics*

- Technology and Materials* **2019**, *58* (18), 1945–1964.  
<https://doi.org/10.1080/25740881.2019.1599941>.
- (28) Jullanun, P.; Yoksan, R. Morphological Characteristics and Properties of TPS/PLA/Cassava Pulp Biocomposites. *Polymer Testing* **2020**, *88*, 106522.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106522>.