

Kundenorientierte und ressourceneffiziente Fertigung von Holzprodukten am Beispiel einer Parkettfabrikation

A. Teischinger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

85/2006

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Kundenorientierte und ressourceneffiziente Fertigung von Holzprodukten am Beispiel einer Parkettfabrikation

Univ. Prof. DI Dr. Alfred Teischinger
Institut für Holzforschung, BOKU Wien

Wien, Juni 2006

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.FABRIKderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

INHALT

1	Einleitung „Industrielle Holzmanufaktur“	17
2	Inhalte und Ergebnisse dargestellt anhand der Arbeitspakete.....	24
2.1	Allgemeines:.....	24
2.2	Arbeitspaket 1: Feststellung des Status-Quo in der Parkettfabrikation.....	24
2.2.1	Status-Quo-Analyse der Standardisierung ästhetischer Holzeigenschaften in Europa.....	24
2.2.2	Evaluierung der Begriffe „Qualität“ und „Merkmal“/ „Fehler“ in der Holzindustrie	25
2.2.3	Erhebung aktueller Vorgangsweisen zur Produktion von „fehlerfreien“ Holzprodukten (Parkett)	26
2.2.4	Erfassung von Postponement - Strategien in der Holzbearbeitung.....	27
2.2.5	Entwicklung und Durchführung einer Prozessanalyse in ausgesuchten Betrieben.....	27
2.3	Arbeitspaket 2: Darstellung der Rahmenbedingungen für eine neuartige und kundenspezifische Parkettproduktion	30
2.3.1	Ideensammlung hinsichtlich neuer Möglichkeiten einer naturnahen Sortierung/Bewertung von Holz	30
2.3.2	Darstellung von Veränderungsmöglichkeiten in der naturgerechten Produktion von Holzprodukten (Parkett)	38
2.3.3	Erarbeiten von Kriterien und Grenzen für individuelle Muster (Parkett)	38
2.3.4	Aufzeigen von Rahmenbedingungen für die Einflussnahme der Kunden auf die Parkettfabrikation	48
2.3.5	Erarbeitung eines Kriterienkatalogs für die Einbeziehung von Kundenwünschen in konfigurierbare Endprodukte	48
2.3.6	Identifizieren von Entkopplungspunkten: Standardprozess vs. Kundenindividueller Prozess	50
2.4	Arbeitspaket 3: Erarbeiten eines Simulationsmodells für ein neues Fertigungskonzept .	51
2.4.1	Neukonzeption einer Fertigungsorganisation.....	51
2.4.2	Neukonzeption von Fertigungsanlagen.....	51
2.4.3	Aufzeigen von Verknüpfungsmöglichkeiten mit neuen Informationstechnologien.....	51
2.4.4	Entwicklung eines Simulationsmodells auf Grundlage neuer Produktionskonzepte	53
2.5	Arbeitspaket 4: Analysen anhand des Simulationsmodells.....	58
2.6	Arbeitspaket 5: Auswirkungen und Zukunftsperspektiven eines neuen Fertigungskonzeptes.....	61
2.6.1	Identifikation von Veränderungen im Produktionsablauf.....	61
2.6.2	Identifikation von Konsequenzen auf die Produzenten/Lieferantenbeziehungen	61
2.6.3	Identifikation der Konsequenzen auf die Mitarbeiter in der Produktion (possible upgrading)	61
2.6.4	Identifikation der Konsequenzen auf die Wertschöpfungskette Parkett	62
2.6.5	Identifikation der Integrationsmöglichkeiten von Integrierten Informationskonzepten	62
2.6.6	Durchführung eines Workshops mit Vertretern aus der Industrie	62
2.6.7	Erstellen einer Roadmap für zukünftige Produktionsanlagen und –techniken	64

3	Glossar.....	67
3.1	Begriffe Parkettproduktion.....	67
3.2	Maschinendefinitionen.....	68
3.3	Definitionen Produktionsmanagement.....	69
4	Abbildungsverzeichnis.....	70
5	Tabellenverzeichnis.....	71
6	Literaturverzeichnis.....	72

Kurzfassung

Die aktuellen Produktionsverfahren von Holzböden basieren im Prinzip auf Technologien und Verfahren, die schon seit Jahrzehnten angewendet werden. Ein- und mehrschichtige Parkettböden werden in der Regel in verschiedenen Erscheinungsklassen produziert bzw. angeboten. Merkmalsfreie (häufig auch als fehlerfrei bezeichnete) Parkettlamellen werden dabei den höherwertigen und somit teureren Sortierklassen zugeordnet, wobei als Merkmale (Fehler) Äste, Verfärbungen, unregelmäßige Faserverläufe usw. gesehen werden.

Viele dieser natürlichen Merkmale kommen jedoch im Rohstoff Holz zwangsläufig vor. Sie sind teilweise auch im fertigen Fußboden nicht funktionsstörend und werden dennoch in den einzelnen Sortierungen als „Fehlermerkmal“ betrachtet. Viele Lamellen werden somit unnötigerweise in nieder bewertete Klassen sortiert. Ändert man allerdings die Definitionen von Sortierklassen grundlegend und kategorisiert jede verwendbare Lamelle nach ihrer optischen Struktur, so entsteht der Wert des Bodens durch die geplante Anordnung bewusst verwendeter Lamellen.

Die Beschreibungen der Klassen konzentrieren sich auf die verschiedenen Attribute aus denen sich die Oberfläche zusammensetzt. Durch Zusammenfassung logischer Abhängigkeiten und Wertung der Attribute wurde versucht, eine überschaubare Anzahl von Klassen zu generieren. Die zur Machbarkeitsstudie bevorzugt verwendete Holzart Eiche und neue Ansätze ließen eine Generierung von 30 Klassen zu. Andere Holzarten verlangen eine auf sie zugeschnittene Kategorisierung der optischen Strukturen. Der mittlerweile hohe Standard von opto-elektronischen Sortieranlagen lässt grundsätzlich eine verlässliche Aufteilung in diese hohe Anzahl an verschiedenen Klassen zu.

Graphische Überlegungen zeigen interessante Möglichkeiten der Gestaltung mit den neuen Sortierklassen. Selbst bei der minimalen Anzahl von Varianten in der Verlegung, die ein Dreischichtparkett bietet, ist die Vielfältigkeit an Bodendesigns, basierend auf der optischen Struktur, enorm.

Die Zusammensetzung der Lamellen zu Dielen und weiters zu einer Bodenfläche ist mit den heutigen Mitteln der Technik und der elektronischen Datenverarbeitung mit geringem zusätzlichen Aufwand durchführbar. Der Bereich der Sortierboxen sowie die Überleitung zur Decklagenzusammensetzung ist der wichtigste zu adaptierende Anlagenteil im Produktionsablauf.

Die Bestellung des Bodens kann über den Handel oder direkt in der Firma durch fachliche Beratung vor sich gehen, benötigt jedoch eine zuverlässige EDV-Lösung. Im Workshop mit Vertretern der Parkettindustrie im Rahmen des Projektes angesprochene Probleme in Vertrieb und Verlegung können durch gezieltes Marketing bzw. Schulungen der Berater und Bodenleger ausgeglichen werden.

Ein weiterer Aspekt des Projektes war die Entwicklung eines Mass Customisation Konzeptes für eine industrielle Parkettproduktion. Da solche Konzepte innerhalb der holzverarbeitenden Industrie hauptsächlich in der Möbelfertigung Anwendung finden, ist dies ein neuer Ansatz in der Holzbodenproduktion. Die großen Innovationen in der Parkettfertigung in den letzten 30 Jahren betrafen zumeist die maschinelle Ausstattung und weniger ein durchgehendes Produktions- und Vertriebskonzept.

Daher standen alternative Produktionskonzepte hinsichtlich Postponement Strategien im Zentrum der Überlegungen. Die Fertigung sollte so weit wie möglich ohne (direkten) Kundeneinfluss erfolgen. Die gefertigten Parkettdielen werden nach der semi-individuellen Planung der Kundschaft zu einem Parkettboden zusammengestellt.

Durch eine Simulation, welche ohne Sortierung der Lamellen angelegt wurde, konnte bewiesen werden, dass die Fertigung mit nach gelagerter Klasseneinteilung nicht funktioniert. Die fertigen Parkettdielen sind den Vorgaben nach statistisch nicht unterscheidbar und daher auch nicht verschiedenen Klassen zuordenbar. Verschiedene weitere Ansätze wurden überlegt

und simuliert. Dabei stellte sich heraus, dass es hinsichtlich produktionslogistischer Kennzahlen bessere Varianten bezüglich der nachfragebasierten Holzbodenproduktion gibt. Die Ergebnisse der Simulation der bestehenden Produktionskonzepte als auch der modifizierten neuen Ansätze wurden verglichen. Dabei zeigten die simulierten Ansätze bessere Resultate als die herkömmliche Produktion. Trotzdem ergab sich, dass auch die aktuelle Produktionsweise hinsichtlich Kundennähe bereits sehr gut ist. Die strukturbasierte Sortierung der Holzoberflächen traf bei den Teilnehmern des Workshops auf reges Interesse und vorsichtige Zustimmung. Jedoch sind noch grundlegende Arbeiten hinsichtlich der industriellen Umsetzung notwendig. Beachtung wurde auch den Darstellungen der alternativen Vertriebswege zuteil sowie möglichen elektronischen Markierungssystemen.

Summary

Production strategies of wooden floors are based on techniques and processes, which haven't been changed even since decades. The wooden boards are sorted into few classes, which depend in first line on the specific visual properties. Nevertheless the sorting classes are too rough to benefit from the big variety of surface structures of wood. An efficient utilisation of limited wooden resources depends on an exact wood sorting system. This should distinct the lamellae in accordance to the surface structure. Further important for an ecological and sustainable use of wood is to exploit nearly all parts of a tree, this is not common at present. The new way of categorising wooden boards is based on a sorting system that categorises the different features and puts them into matching boxes. For designing a wooden surface like a floor the needed lamellae will be taken out of the boxes and will be assembled concerning the design pattern proposed by specific software.

For producing parquet floors the only sorting criteria is the optical surface. So the wooden boards have to be categorised concerning their structure, for instance orientation of the grain, natural colour variations or features like sound knots.

In order to simulate a new sorting system, the grain orientation, the natural colour and special features were taken as the core sorting parameters, each divided in at least three different subclasses. In the course of the project oak has been selected for analysing a new sorting system. In practice it was found out that in dependence of the different characteristics of wood species the sorting classes can vary. Within the project 30 different classes of oak wood lamellae could be defined.

Based on the different appearance of the wood classes design proposals have been worked out. Although the possible amount of designs is even innumerable, the three-layer-parquet is not as variable as single parquet elements. Nevertheless the assembling of distinctive lamellae offers huge possibilities for gaining a specific effect within a room. For instance the arrangement can intuitively show a person the way or brings someone to stay at a certain place.

Nowadays sorting into more than 20 or 30 classes is no technical challenge anymore.

Optoelectronic devices are well-developed and the internal logistics within the plants is appropriate. The defined arranging of the sorted lamellae requires only a connection between the sorting and the assembling division of a three-layer-parquet manufacturing.

In the second part of the project new ideas for applying mass customization concepts in the production of wooden floorings, especially the parquet industry, have been explored. Until now, applications of mass customization and customized product configuration in the woodworking industry can mainly be found in furniture production. To offer customers the possibility of individually composed floors, several types of basis modules instead of currently produced floor boards were considered for manufacturing. By using process simulation new production concepts were assessed concerning validity and applicability. The results of the simulation runs were used as references to compare the performance of two different concepts. It could be shown that new production concepts in the parquet industry can deliver the same results than current production processes. Nevertheless, current production processes of parquet show already a very high level of mass customization, although they only allow orders only for one quality and wood type. The newly proposed concepts make way for configuration and ordering possibilities over former restrictions. Similarly the new concepts hold benchmarks or even outdo them when compared to conventional processes. Concluding it can be said that customer oriented production of individual parquet elements is technically as well as logistically possible, especially under consideration of innovative production concepts and sorting systems. The challenge for the future is on the one hand to develop appropriate sorting parameters and on the other hand to put more stress on the training of the customer advisory services.

Zusammenfassung (5 Seiten)

Das Ziel der „Industriellen Holzmanufaktur“ ist die Entwicklung kundenindividueller und innovativer Produktionskonzepte von Mehrschichtparkett. Die Schwerpunkte liegen in der Gestaltung von Holzfußböden, eine ressourceneffiziente Verwendung der Deckschichthölzer und die Entwicklung von Mass Customisation Konzepten, die Postponement-Strategien miteinbeziehen.

Die Aufnahme und Dokumentation einer Parkettproduktion war daher Voraussetzung für eine Simulation und theoretische Adaptierung der Produktionsweise. Dabei wurde auch ein erster Eindruck über die Sortierung und die verschiedenen Qualitäten gewonnen. Die Recherche nach angebotenen Sortierungen bestätigte die Annahme, dass viele Parkettproduzenten, angelehnt an die Sortierklassen der mittlerweile durch EN 13489 ersetzten ÖNORM B3000, Klassen mit beschreibenden Namen in ihrem Angebot haben. Nachteil dieser Klasseneinteilung ist die unkontrollierte Zuordnung der Strukturen innerhalb der gesetzten Grenzen. Somit ist es durchaus wahrscheinlich, dass Lamellen mit Merkmalen nahe den gegenüberliegenden Klassengrenzen nebeneinander zu liegen kommen. Dass bei breiten Klassen starke Differenzen im Erscheinungsbild des Bodens auftreten, ist mit den herkömmlichen Sortiergewohnheiten nicht vermeidbar. So sind die Grenzen der „Exklusiv“ Sortierung sehr eng gesteckt, was eine Abwertung aller Elemente, die nicht in dieser Klasse sind, zur Folge hat. Ein Grundsatz der „industriellen Holzmanufaktur“ lautet daher, dass jede Lamelle, egal welcher optischen Ausprägung, gleich viel wert ist. Eine kundenindividuelle Fertigung von Parkettböden kann nur über eine genaue und nachvollziehbare Sortierung erzielt werden. Daher wurde eine auf die Struktur und Merkmale eingehende Klasseneinteilung entwickelt und weiters auf eine Holzart abgestimmt. Die gewählte Holzart ist „Europäische Eiche“ (*Quercus* sp.). Sie ist eine der meistverwendeten Holzarten in der Bodenproduktion und liegt derzeit auch im Trend.

Die Anforderung, eine individuelle Gestaltung der Holzböden durch charakteristische Merkmale, Farbdifferenzen und Texturen zu erreichen, bedingt eine Sortierung der Einzelteile (Lamellen) basierend auf diesen Attributen.

Grundsätzlich lässt sich die Oberfläche einer Holzlamelle durch drei Attribute beschreiben:

- Textur (gestreifte, Übergang und gefladerte Lamelle)
- Farbe (hell, mittel und dunkel)
- Wuchsmerkmale (Äste, Partielle Verfärbungen, Spiegel, ...)

Die Erscheinung jeder Lamelle setzt sich zumindest aus zwei Attributen zusammen. Diese sind einerseits die Grundfarbe und andererseits die Textur. Merkmale sind nicht zwingend vorhanden.

Die Einteilung in die verschiedenen Klassen erfolgt aufgrund unterscheidbarer Ausprägungen durch Kombinationen von Attributen. Jedes Attribut wird in eine bestimmte Anzahl von Klassen (Attributwerte) eingeteilt. Die Kombinationen, abhängig von der Anzahl der Unterteilungen der Attribute, ergeben die Anzahl der Klassen. Die Festlegung auf die Holzart Eiche brachte als zusätzliches Wuchsmerkmal noch flächig angeschnittene Holzstrahlen (so genannte Spiegel) im Radialschnitt hinzu. Abweichung

Beschreibung der Attribute:

Die Gestaltung von Holzoberflächen hängt von den oben angeführten Wuchsmerkmalen ab. Farblich unsortierte Parkettböden ergeben ein uneinheitliches und buntes Bild, welches eine gewisse Unruhe ausstrahlt. Um bei der Verlegung der Dielen genau definierte Farb- oder

Helligkeitsschattierungen erreichen zu können, ist die Messung der Grundfarbe und Helligkeit notwendig. Auch in den derzeit aktuellen Sortierungen werden die Lamellen in den höherwertigen Klassen bereits auf ähnliche Helligkeiten und Farben sortiert.

Textur:

Die Einschnitttrichtung gibt im Wesentlichen die Textur vor. Einerseits die gestreifte Lamelle, welche in Abhängigkeit des Anschnittwinkels verschieden breite Jahrringe haben kann. Die zweite Klasse enthält alle Lamellen auf denen die Textur durch den Übergang von gestreift zu gefladert gebildet wird. Gefladerte Texturen sind in der dritten Klasse zu finden (siehe Abbildung 1).

Farbe:

Jede Holzart hat ihre spezifische Farbe. Doch die Unterschiede innerhalb einer Holzart lassen sie zum Attribut werden und ergeben die Möglichkeit gestalterische Punkte zu setzen. Die entwickelte Sortierung für Eiche enthält drei Farbklassen. Die Einteilung erfolgt nach dem CIELab-Farbraum. Dieser hat die Eigenschaft in einem dreidimensionalen Koordinatensystem mehr als alle Farben, die das menschliche Auge wahrnehmen kann, darstellen zu können und entsprechend zu beschreiben. Die drei Werte L^* (für die Helligkeit), a^* (Rot-Grün-Bereich) und b^* (Gelb-Blau-Bereich) fixieren jeden Farbpunkt im Raum. Durch die Beschreibung mithilfe von Zahlenwerten können Unterschiede auch mathematisch beschrieben werden (siehe Abbildung 2)

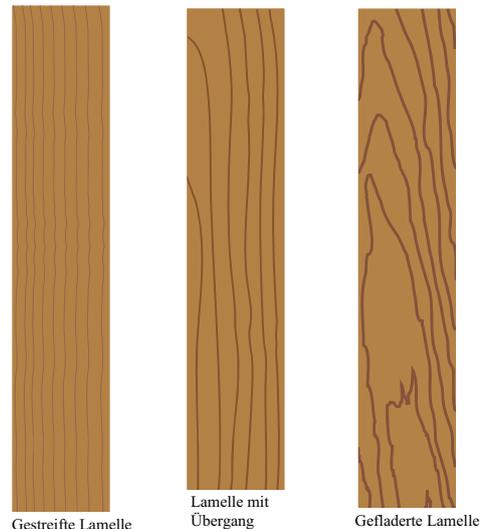


Abbildung 1: Verschiedene Texturen

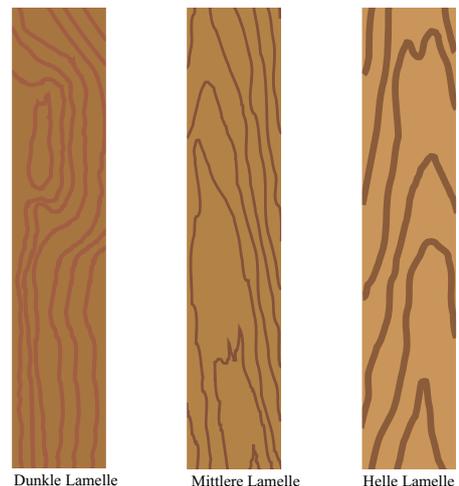


Abbildung 2: Verschiedene Farben

Wuchsmerkmale

Äste, Verfärbungen und Spiegel sind die Werte dieser Attribute. Form der Äste und Spiegel sind von der Schnitttrichtung abhängig und brauchen daher nicht in allen Texturklassen in allen Ausprägungen berücksichtigt werden. Äste ändern sich mit der Schnitttrichtung. Sie gehen von einem Flügelast, der eine dreieckige Form aufweist (Radialschnitt) bis zu einem Kreis (Tangentialschnitt). Im Unterschied zu den vorhergehenden Attributen kann eine Lamelle ohne diese Attributwerte vorkommen, aber auch mehrere davon enthalten (Abbildung 3).

Die Abbildungen zeigen eine Auswahl der oben beschriebenen Strukturen in schematischer Darstellung. Natürlich enthalten sie nicht nur die speziell beschriebenen Strukturen sondern immer auch andere individuell differierende. Ein großer Teil der zu erwartenden Ausprägungen kann im Sinne

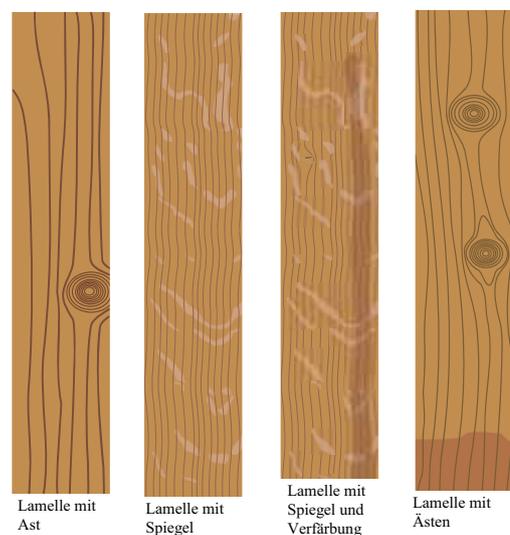


Abbildung 3: Verschiedene Merkmale und Kombinationen

dieser Einteilung einer Kategorie zugeordnet werden.

Die Bodengestaltung

Holz kann zur individuellen Gestaltung verschiedenster Oberflächen eingesetzt werden. Die geplante Verwendung der unterschiedlichen Strukturen kann bestimmte Impressionen vermitteln. Durch Kombinationen der verschiedenen Klassen bzw. Anhäufung gleich wirkender Lamellen können Bodenbereiche individuell gestaltet werden. Dieses Design kann vor allem auf die Raumnutzung, platz- oder wegweisend abgestimmt werden.

Folgende Abbildungen zeigen Beispiele wie Strukturen bestimmte Wirkungen erzielen.

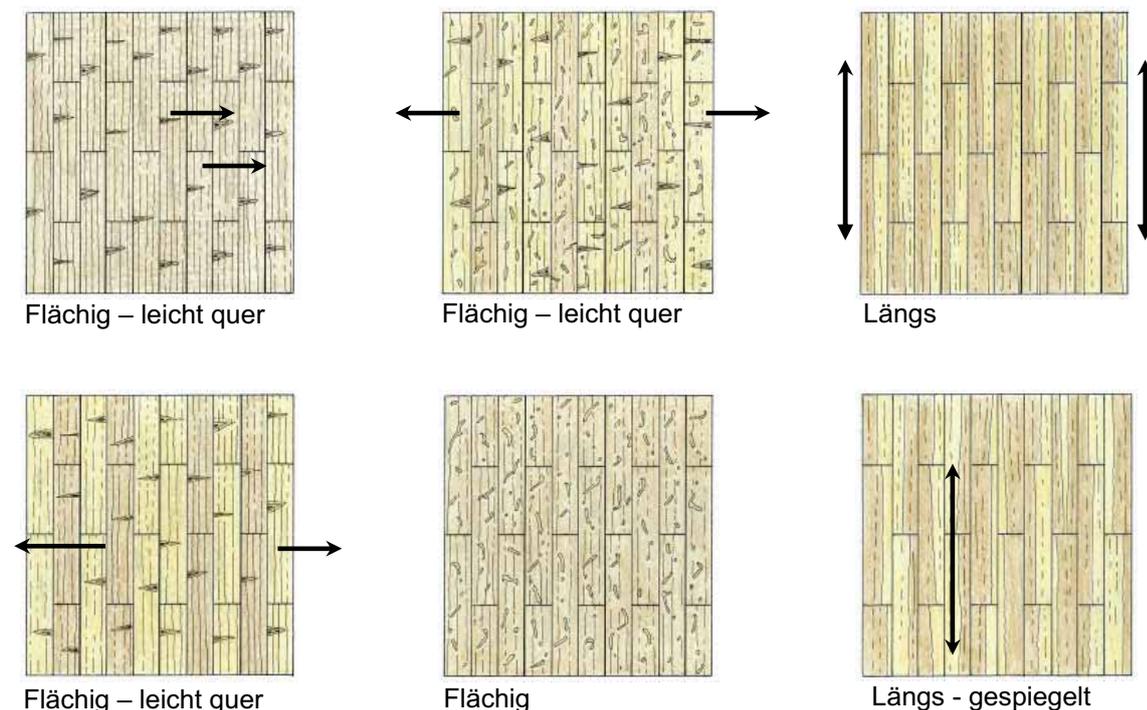


Abbildung 4: Beispiele einiger Designs und optische Wirkung (eigene Darstellung)

Der zweite essentielle Teil dieses Projektes erforscht neue Ideen für die Anwendung von Mass Customisation Konzepten in der Produktion von Mehrschichtparkettböden. Marktanforderungen zwingen die Industrie ihre Qualitätsstandards während der Produktion dauernd zu überprüfen. Holz mit bestimmten natürlichen Unregelmäßigkeiten und Wuchsmerkmalen wie Farbdifferenzen oder Äste wird in den hochwertigeren Kategorien nicht angenommen und daher in die niederen Preisklassen sortiert. Die gestalterischen Chancen des Holzes mit natürlichen Merkmalen werden kaum genutzt. Der Preis des Endproduktes entspricht nicht seinem wahren Wert. Die Klassifizierung beeinträchtigt das erzeugte Produkt. Der Kunde hat nur die Wahl zwischen verschiedenen Sortierklassen. Ein völlig kundenindividueller Fußboden ist mit den gegenwärtigen Produktionsprozessen fast unmöglich zu planen.

Beispiele und Anwendungen der Mass Customisation (MC) und Postponement Strategien sowie kundenabhängiger Produktkonfiguration in der Holzbearbeitungsindustrie können hauptsächlich in der Möbelproduktion gefunden werden (Sigg und Jonas 2003). Laut einer Delphi-Studie der Holz verarbeitenden Industrie des Fraunhofer Institute for Manufacturing,

Engineering and Automation sollen 2010 schon über 25% aller industriell produzierten Möbel in der Losgröße 1 produziert werden (ProWood 2004).

State-of-the-art Beschreibungen der Produktionsprozesse aus den 1970 er Jahren (Kisseloff 1974) unterscheiden sich nicht viel von den Analysen durch Hamberger 1995. Auch die im Projekt vorgenommene Untersuchung der Produktionsabläufe zeigten keine wesentlichen Veränderungen.

Innovationen in der Parkettbodenproduktion haben in den letzten 30 Jahren hauptsächlich auf der Seite der technischen Maschinenausrüstung stattgefunden. Individualisierungskonzepte in der Fußbodenfertigung beginnen, besonders hinsichtlich der Fertigparkettelemente populär zu werden. Planungssoftware, welche die geplanten Böden darstellt, wird bereits eingesetzt, um dem Kunden eine realitätsnahe Raumansicht zu vermitteln. Individuell angefertigte Fertigparkettböden können neue Möglichkeiten für die Industrie erschließen. Um der Kundschaft eine Möglichkeit der Auswahl zu bieten, werden anstelle der heutigen Sortierklassen Dielen mit geplanten Ausprägungen produziert, so genannte M_Dielen (M steht für Modul). Verschiedene Ansätze der Modularisierung wurden im Projekt entwickelt, mit einer Simulationssoftware getestet und anschließend mit der aktuellen Produktion verglichen.

Durch Analyse der relevanten Geschäfts- und Produktionsprozesse wurden wesentliche Kennzahlen ermittelt. Die Referenzfirma erzeugt Dreischichtparkett dielen in mehreren Holzarten, Qualitäten und Oberflächenbehandlungen. Die Produktion von Fertigparkett erfolgt in zwei Stufen. Zuerst wird die Decklage in Serienfertigung gefertigt und im Klimalager zur Konditionierung zwischengelagert. Anschließend erfolgen die Verklebung mit dem Trägermaterial und die Oberflächenbearbeitung. In diesem zweiten Teil der Produktion kann ein Kundenzuordnungspunkt festgelegt werden. Kunden können hier ihre Dielen anhand ausgeprägter Unterschiede bestellen. Holzböden sind aufgrund natürlicher Unregelmäßigkeiten nicht exakt berechenbar. Daher ergeben sich in der Produktion schwer kalkulierbare Faktoren, was zur Folge hat, dass eine nachgefragte Menge nicht immer befriedigt werden kann. Durch Anfall nicht nachgefragter Decklagen ergibt sich eine durchgehend große Lagermenge, auch infolge der hohen Anzahl verschiedener Holzarten, im Produktionsablauf. Der Klimaraum nach der Decklagenverleimung ergibt sich als Zwischenlager. Zugleich bildet er aber dadurch einen Engpass im gesamten Produktionsablauf.

Eine Dreischichtparkettproduktion kann prinzipiell in vier Unterabschnitte geteilt werden:

- Herstellung der Decklage (vom Kunden sichtbarer Teil),
- Herstellung der Mittelschicht und des Gegenzuges (ein Prozess, der hier nicht weiter betrachtet und beschrieben wird, ist eine standardisierte Halbfertigware),
- Verpressen der Decklage mit dem Trägermaterial und Oberflächenbearbeitung
- Anfräsen des Verbindungssystems, Endkontrolle und Verpacken der fertigen Parkett dielen

Da Mass Customisation Prozesse in der Holzbearbeitungsindustrie immer noch unterentwickelt sind, war der Hauptteil der Forschungsarbeiten auf die Entwicklung von Grundlagen ausgelegt. Es wurden neue Produktionskonzepte entwickelt, wie kundenindividuelle Holzbodenbeläge industriell gefertigt werden können. Diese Produktionskonzepte beziehen einige Vorarbeiten mit ein, die eine optimale Zusammenarbeit gewährleisten. Einige dieser Entwicklungen, wie ein Produkt-Konfigurator für Parkettböden, Datenbanklösungen und RFID-Logistik, nahmen wir als technisch möglich an und modifizierten sie für unseren Zweck. Das Hauptaugenmerk lag auf der Entwicklung eines Modularisierungskonzeptes für die Produktion.

Neue Möglichkeiten der Kombination der Parkettböden entstanden durch die so genannte modularisierte Diele. Die entwickelten Produktionskonzepte wurden durch Simulation auf ihre Gültigkeit und Anwendbarkeit getestet. Mit den Daten der Betriebsaufnahme entstand ein Modell des gesamten Betriebsablaufes. Nach der Validierung desselben durch die Betriebsdaten, wurden verschiedene alternative Produktionsprozesse getestet. Die überzeugendsten Konzepte wurden mit den aktuellen Prozessen verglichen. Die Prüfungen bezogen sich auf eine mögliche Verbesserung der Mass Customisation des Produktionsprozesses, gemessen beispielsweise durch eine erhöhte Erfüllung der Kundenaufträge bezogen auf den aktuellen Status.

Eine valide Durchführung der Simulationen gewährleisten zur Verfügung gestellte Firmendaten über 14 Monate Produktionszeit. Das Simulationsprogramm ARENA® bearbeitet diese Daten aufgrund des eingegebenen Ablaufes und aller Abhängigkeiten. Die Produktionsdaten enthalten 19 Holzarten in maximal fünf verschiedenen Sortierklassen und mindestens zwei Oberflächenbehandlungen. Die Kundennachfrage wurde ebenso in das Simulationsprogramm eingetragen. Bodendielen wurden entsprechend unseren Spezifikationen produziert und Kunden sind in der Lage, entsprechend diesen Spezifikationen auch zu bestellen. Die Ergebnisse der Simulationsdurchläufe werden als Referenzen für den Vergleich der neuen modularisierten Konzepte mit der herkömmlichen Produktion verwendet.

Alle relevanten Simulationen ergaben unterschiedliche, aber stabile Ergebnisse, sowohl in den Produktionsvarianten als auch in den Parametern der Durchlaufzeit oder Kundenzufriedenheit. Der Vergleich zwischen den Modellen ist anwendbar. Die Robustheit der Simulation wurde im gleichen Modell durch mehrere Durchläufe mit geänderten Zeiten und Quantitäten abhängig von Rohstoffeingang und der Kundennachfrage geprüft. Um das Ergebnis jedes Modells zu vergleichen, wurde sein Auftragerfüllungsgrad in Relation zu den unterscheidbaren Kundenaufträgen eingestellt. Auch Kontrollwerte des Zwischenlagers am CODP (Punkt, an dem das Produkt einem Kundenauftrag zugeordnet wird) sind ermittelt worden.

Die Auswertung der Simulationen konnte zeigen, dass neue Produktionskonzepte in der Parkettindustrie zumindest gleich gute Resultate als gegenwärtige Produktionsprozesse liefern können. Einer der Gründe dafür kann die Möglichkeit auf der Zweckgruppierung der ähnlichen Holzstrukturen auf einer Bodendiele sein. Ebenso konnte gezeigt werden, dass, je höher die Zahl unterschiedlicher Attribute des Holzes ist, desto kleiner die Wahrscheinlichkeit wird, mit einer Clusterbildung die Gestaltung eines Bodens zu erreichen. Ein Konzept den Parkettboden ohne Sortierung zu produzieren, ist aufgrund der vielen Merkmale weder anwendbar noch durchführbar. Gegenwärtige Produktionsprozesse von Parkettböden zeigen bereits eine sehr hoch entwickelte Kundenbezogenheit. Unterschiede zu unseren vorgeschlagenen und geprüften Konzepten liegen an den Beschränkungen den Kunden gegenüber, wenn sie ihre Parkettdielen bestellen. Gegenwärtige Prozesse erlauben die Bestellung einer Qualität und Holzart, während unsere vorgeschlagenen neuen Konzepte Möglichkeiten von Holzarten und Sortierklassen übergreifenden Bestellungen ermöglichen.

Short Version (5 pages)

Individual production and design of industrially manufactured multilayer-parquet

The actual project deals with a problem in the wood working industry caused both by the actual quality standards for wood and an industrial production management which is not state of the art compared with other industries. The parquet industry is obliged to observe special quality standards of wood. The main goal is the development of an innovative and customer related organisation of multi-layer-parquet production. One important issue of the project is to develop a new sorting system which depends only on the optic characteristics of the different wood properties. The second aim is to develop a production concept with is based on the criteria of mass customisation and postponement strategies.

At first the state of the art concerning sorting and producing parquet elements were analysed. The actual sorting criteria are strongly related to the quality classes which are derived from the former ÖNORM B 3000. This Austrian standard describes four classes, called Exklusive, Natur, Gestreift and Rustikal. Although the standard is already replaced by different European standards, especially the EN 13489 the companies stick in these criteria, even the labelling of different products of the companies is based on them.

An alternative sorting scheme is developed in order to categorise the wooden lamellae by their surface structure and optic appearance. So colour, texture and different features have to be categorised.

Customer related floor design also takes into account different growth features. The distinctive assembling of natural characteristics will bring in more harmony into a room. Without sorting the floor will have an inconsistent and restless character.

In the actual project one wood species – oak (*Quercus* sp) has been selected to serve as an example for a new sorting system.

The three main sorting categories are:

- Texture (straight grain, quilted figure and all between)
- Colour (bright, middle and dark)
- Features (knots, partial colour differences, silver figure ...)

Every lamella has definitely at least two attributes. These are texture and colour. Specific features like knots may occur, but not necessarily. The main categories have been divided into three subcategories.

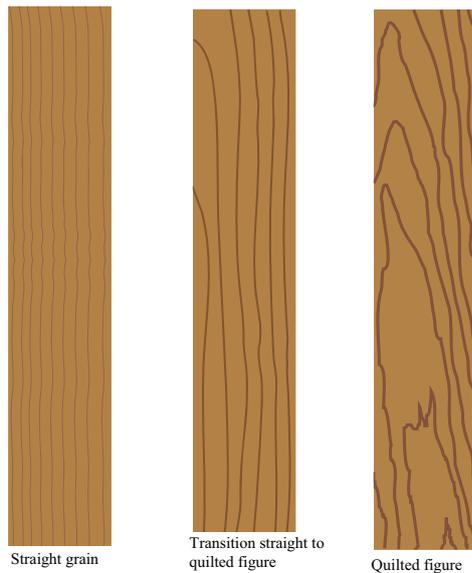


Figure 1: three classes of grain

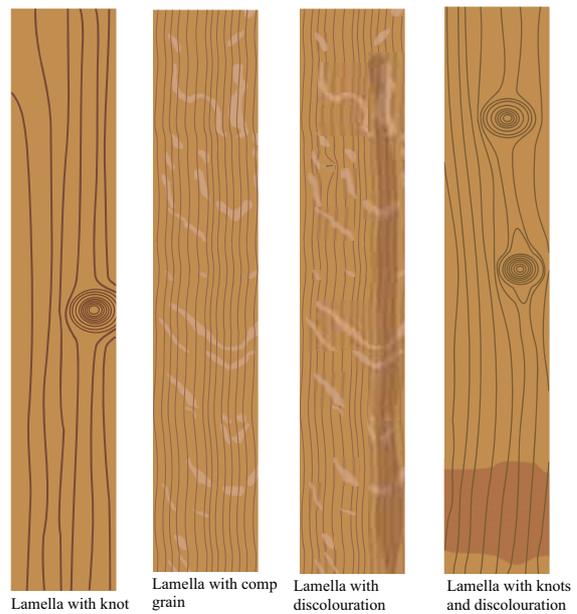


Figure 3: Different features and combinations

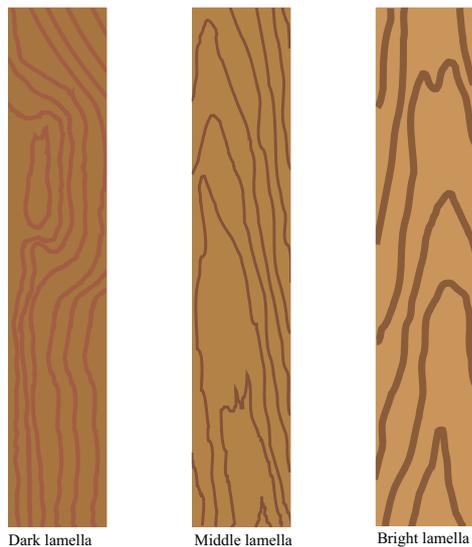


Figure 2: expression of different colours of one wood species

Description of the categories:

Texture:

Wood can be cut in different directions to the grain. It seems sufficient to distinguish three different classes concerning the grain direction. One class has only straight grain; the second one contains lamellae with transition from straight to flat sawn grain and the third one has only quilted figure. These three appearances are shown in Figure 1.

Colour:

Every wood species has its own specific colour. But even the colour nuances within one wood species (Figure 2) offer various possibilities for floor arrangements. In the actual colour category three different variations are shown.

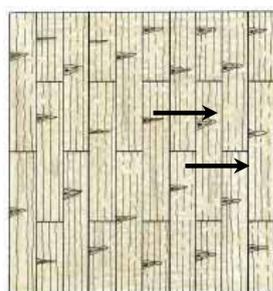
Features:

Knots, partial colour differences, comb grain are some of the features, which appear naturally (Figure 3). Some attributes are very special for a species. In case of oak wood knots, partial colour differences, comb grain and combinations of some of them have created the different sub-classes. Cutting directions influence the appearance of knots, e.g. straight grain is connected to splay knots and mostly also comb grain.

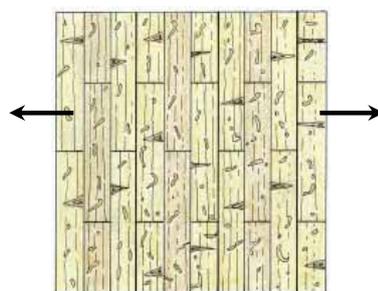
Floor design

Individual floor design based on natural wooden features offer various possibilities to give a specific appearance to the room and its users.

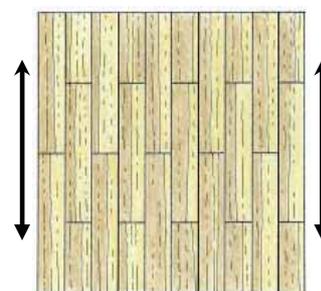
Following pictures show some design ideas and the effect on people.



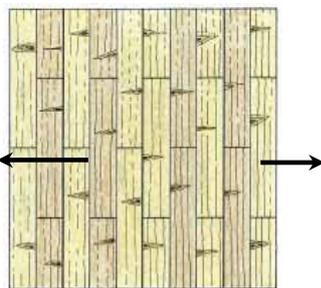
Laminar – a little bit sideward



Laminar – a little bit sideward



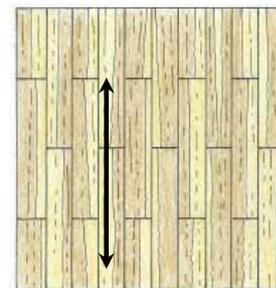
Lengthwise



Laminar – a little bit sideward



Laminar



Lengthwise - mirrored

Production:

The second part of this project explores new ideas for applying mass customization concepts in the production of wooden floorings, especially the parquet industry. Due to market requirements this industry is obliged to observe special quality standards during production. Wood with certain natural characteristics like colourings or knots is not accepted in higher quality classes and thus has to be sorted out. As a matter of fact the effective utilization of the natural resource wood and the price of the final product are negatively influenced as downgrading of material affects the generated value-added. The customer has only a choice between a narrow range of patterns or quality. With the current production processes, individual arrangements or a fully customized floor are today nearly impossible to supply. Experts assume that in the parquet industry, unlike other industries, the product the customers buys, only consists of prefabricated parts, namely the floor boards, as the actual product, a customer wants to buy, is the pattern or the impression and other characteristics of his individual floor.

Until now, examples and applications of mass customization and postponement strategies as well as customized product configuration in the woodworking industry can mainly be found in furniture production. Nevertheless, the ability to produce customized furniture with industrial processes will be the key aspect of survival of furniture producing companies in the future according to industry consultants.

Examples and applications of mass customization and postponement strategies as well as customized product configuration in the woodworking industry can mainly be found in furniture production (Sigg & Jonas 2003). According to a Delphi-study of the wood-working-industry undertaken by the Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation over 25% of furniture shall be produced in lot size 1 on industrial scale (ProWood 2004). State-of-the-art descriptions of production processes from the 1970ies (Kisseloff 1974) do not differ very much from analyses in the 1990ies (Hamberger 1995) or our observations of production processes in the case study observed in 2005.

Individualization concepts in the flooring industry are starting to become popular, especially concerning artificial floorings like laminate or easy to re-design natural materials like cork. Also, product presentation or configuration software, through which customers can dimension the rooms they want to furnish and experiment with different colours and wood types, is available from manufacturers. Mass Customizing parquet flooring could open new possibilities for the industry. To offer customers the possibility of individual composed floors, several types of basis modules instead of currently produced floor boards are considered for manufacturing. In the production process several possibilities to modularize floorboards arise. These possibilities are presented and evaluated concerning the implications for the current production process.

Examples and applications of mass customization and postponement strategies as well as customized product configuration in the woodworking industry can mainly be found in furniture production (Sigg & Jonas 2003). According to a Delphi-study of the wood-working-industry undertaken by the Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation over 25% of furniture shall be produced in lot size 1 on industrial scale (ProWood 2004). State-of-the-art descriptions of production processes from the 1970ies (Kisseloff 1974) do not differ very much from analyses in the 1990ies (Hamberger 1995) or our observations of production processes in the case study observed in 2005.

Analyzing the relevant business and production processes we identify the parameters currently faced in the manufacturing of parquet flooring. The case study company produces floorboards in different qualities, different wood sorts and allows for several different finishing possibilities, like lacquer or oiling, which the customers can choose freely. Production of parquet is done in two stages: First, the (visible) upper layer is produced in a make-to-stock environment, followed by a buffer in which conditioning processes of the floorboards according to the wood sort, take place. This buffer is also functioning as CODP. In the second step of the production a make-to-order environment can be stated. Floorboards are retrieved from the conditioning chamber, and then finished according to customer orders. Customers can order their desired flooring only in the distinctive qualities. Due to its character as a natural resource wood is subject to several anomalies and different quality patterns. The company is faced with uncertainties and cannot ever be sure to produce the quality desired by the customer with the raw material input. Thus a lot of work-in-progress of different product variants has to be kept in stock in the conditioning chamber, which is one of the main bottlenecks of the production process.

A multi layer 3-strip parquet production processes in general can be divided into four sub-sections:

- Manufacturing of the upper layer (the one visible to the customer),
- Manufacturing of the middle layer or support layer and undercoating (a process not considered and described here, as this is a standardized semi finished product),
- Press sizing of upper layer and support layer to a floorboard and finishing operations of the surface of the floorboard with lacquer or oil, and
- Finishing Processes like milling of tongue and groove, quality end control and packaging.

As mass customization processes are still underdeveloped in the wood-working industry, most of our research has been exploratory in nature. Ideas how a new production concept of customized wooden flooring could be set up has been developed. These production concepts comprise several sub-features which should ideally work together. Some of these features, like a product configurator for parquet flooring, database solutions and RFID-logistics should be technically possible and thus given. The sub features subject to our simulation study are modularization concepts of the production.

Several new possibilities of combining parquet floorings via so called modularized floorboards have been set up. The testing of the new production concepts have been done with the method of process simulation for validity and applicability. Using the case study a complex model of the whole production process has been build. This model was then validated with the known data before the testing of several possible production process reconfigurations started. The most relevant scenarios and their results were then set in comparison the validated model of current processes. In the current state of research the test of the possibility of adaptation for mass customization of the production processes, measured by the ability to fulfil customer's wishes at least to the same extent as current processes, has been done.

In order to conduct the simulation experiments for testing modularization strategies in the parquet industry a real-life production data from more than 14 months with the simulation software Arena[®] has been implemented. The real-life data are available for a production line which produces floorboards in 19 different types of wood and up to five different qualities. Customer orders for the same time frame where implemented in the simulation as well. Floorboards are produced according to our specifications and customers are able to order also according to these specifications. The results of simulation runs of the current production processes were used as references to compare the performance of the two new modularization concepts.

All relevant simulation scenarios resulted in different, but robust outputs, both in produced variants and in parameters such as throughput time or customer satisfaction. This allows a comparison between the models is applicable. Robustness was tested in several simulation runs of the same model subject to by-chance variation of time and quantity in both raw material input and customer demand. To compare the output of each model its order fulfilment results were set into relation to the distinctive customer orders. Also benchmarks of the storing process at the CODP have been measured.

The tests show that new production concepts in the parquet industry can deliver better results than current production processes. Over all simulation runs one concept seems to be slightly more effective in meeting customer demand than others. One of the reasons for this can be the possibility on purpose grouping of similar wood characteristics on one floorboard. Another result is the higher the number of different characteristics of wood, the smaller is the probability of a cluster of characteristics to form the impression intended. A production concept of parquet flooring without the step of sorting and clustering wood qualities or characteristics (like concept 2) is thus neither applicable nor feasible. Interpreting the results one finds other interesting angles as well. Current production processes of parquet show already a very high level of customization. Differences to our concepts proposed and tested lie within the restrictions customers face when ordering their individual floorboards. Current processes allow and promote only ordering for one quality and wood type, while our proposed new concepts make way for configuration and ordering possibilities over former category bounders and restrictions while similarly holding benchmarks or even outdoing them when compared to conventional processes.

1 Einleitung „Industrielle Holzmanufaktur“

Machbarkeitskonzept für eine kundenorientierte und ressourceneffiziente Fertigung von Holzprodukten am Beispiel einer Parkettfabrikation

Massivholz ist ein natürliches, über Jahre und Jahrzehnte gewachsenes Material, das durch die Gegebenheiten und Umstände am Platz seines Entstehens geprägt ist. So vielfältig wie die Standorte und die Umwelteinflüsse können daher auch die Kennzeichen und Eigenschaften innerhalb einer Holzart sein. Viel ausgeprägter aber sind Unterschiede zwischen den Holzarten. Die Verschiedenheit der einzelnen Holzarten zueinander ist das Ergebnis eines Jahrtausende dauernden Entwicklungsprozesses. Diese Vielfalt an Texturen, Ästen, Farben, Farbdifferenzen und anderen individuellen Ausprägungen ermöglicht eine hohe Gestaltungsvielfalt. Diese wird in handwerklicher Einzelanfertigung nach wie vor genutzt und führt je nach Gefühl und Können des Handwerkers zu hochklassigen Werkstücken. Der Aspekt der Gestaltung mit der Natur ist ein essentieller Teil dieses Projektes. Die neue Sortierung und die Zusammensetzung der Dielen aufgrund der Strukturen kann die Gestaltung des Bodens nach gewachsenen Gesichtspunkten ermöglichen. Sind ganze Bretter in sich geschlossene und natürlich wirkende Oberflächen, so muss diese gewachsene Natürlichkeit durch die Zusammensetzung der kleinteiligen Einzelkomponenten (= Lamellen) erst geschaffen werden.

Die Erscheinung eines einzelnen Brettes wird hauptsächlich von Ästen und Textur und weniger von der Holzgrundfarbe bestimmt. Dagegen kommen bei zusammengesetzten Oberflächen auch die Farbunterschiede zwischen den Einzelteilen zum Tragen. Daher muss bei einer Erfolg versprechenden Sortierung und anschließenden Gestaltung auch die Grundfarbe jeder Lamelle als Parameter aufgenommen werden. Folglich ergeben sich die Ausprägungen der Lamellen als Zusammenspiel von drei Einflussgrößen: Farbe – Textur – Wuchsmerkmale.

Holz wird für verschiedenste Einsatzgebiete verwendet. Je nach Verwendungszweck kommen speziell geeignete Holzarten in Betracht. Auch die gemeinsame Verwendung in einer Konstruktion unter optimaler Ausnutzung der spezifischen Eigenschaften war in früheren Jahren gang und gebe. Doch Entwicklungen, vor allem in der Kunststoff- und Metalltechnik, verdrängten in den letzten Jahrzehnten dieses hochwertige Naturmaterial aus vielen Bereichen.

Durch Umdenken in der Ressourcenverwendung, den Treibhauseffekt und der Realisierung, dass nicht alles ewig verfügbar sein wird, gehen gewisse Trends wieder zurück zu natürlichen und nachwachsenden Rohstoffen. So auch im privaten Wohnbau. Die Anzahl der verlegten Quadratmeter an Holzboden (mehrheitlich Fertigparkett) in Europa steigt von Jahr zu Jahr (FEP 2005). Die Gründe sind unter anderem in den geringeren Kosten für einen Fertigparkettboden durch industrielle Fertigung, der besseren Hygiene gegenüber Teppichböden und dem angenehmeren Klima im Gegensatz zu PVC Böden zu finden.

Beeinträchtigungen hinsichtlich einer ressourceneffizienten Fertigung ergeben sich aus der qualitätsbezogenen Sortierung. Viele Merkmale und Teile eines Baumes werden aufgrund von der Branche selbst bestimmter Regeln nicht zur Produktion verwendet bzw. in geringer bewerteten Klassen verarbeitet und dort unkontrolliert platziert. Diese Sortierung vernichtet bereits einen bestimmten Wert, obwohl dafür kein zwingender Grund gegeben ist. Daher ist die Kategorisierung des Rohstoffes aufgrund seiner natürlichen Ausprägungen, unabhängig jeder Bewertung der erste Schritt zu einer ressourceneffizienten und gestalterischen Nutzung. Die Zusammensetzung der flächenmäßig kleinen Teile zu Dielen und letztendlich zu raumgroßen Flächen aufgrund der optischen Strukturen erfordert lediglich eine gut strukturierte Sortierklasseneinteilung. Die bereits vorhandene Qualität der opto-

elektronischen Sortieranlagen lässt ein unkompliziertes Adaptieren der Anlagen und Umprogrammieren der Software erwarten. Herausforderung an die Anlagenbauer sowie an die logistische Planung bietet die automatisierte Zusammensetzung der Einzelteile zu Gesamtkunstwerken.

Wirkungsvolle Designs ergeben sich aus der Kombination von Kontrasten, die sowohl von der Textur als auch der Farbe gebildet werden können. Weitere Gestaltungselemente stellen Äste und partielle Verfärbungen dar. Je nach Schnittrichtung ändern sich Ausprägung und Wirkung eines Astes. Starken Einfluss auf die Wirkung nehmen natürlich auch die Größe der Äste sowie die Häufigkeit. Die Äste der aktuell verwendeten Holzprägungen in der Sortierklasse „Vierseitig Fehlerfrei“ wirken jedoch kaum aufgrund ihrer geringen Größe und der annähernd gleichen Ausprägung der Holzfarbe und können daher nur sehr eingeschränkt auf das Aussehen Einfluss nehmen. Dies deutet auf die Notwendigkeit neuer Vorgaben bereits beim Zuschnitt der Rohfriese hin.

Diese Vielzahl an differenten Attributen wirft eine sehr essentielle Frage auf: Wie wirken die einzelnen Ausprägungen der Struktur und wie werden die verschiedenen Kombinationen interpretiert? Dr. Olof Broman (Broman 2000) forscht bereits seit einigen Jahren an den visuellen Empfindungen von Holzflächen insbesondere der der gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Personen. In seinen Arbeiten wurden Holzflächen mit verschiedenen Merkmalen je nach Ziel der Arbeit einer unterschiedlichen Anzahl von Personen vorgelegt. Diese bewerteten nach vorgehenden Fragebögen, welche projektabhängig verschiedene Schwerpunkte hatten. Die Aussage, dass jede Person eine bestimmte Holzoberfläche anders bewertet, konnte durch diese Versuche verifiziert werden.

Um sich die Idee der alternativen Sortierung und darauf basierten Gestaltung von Holzoberflächen besser vorstellen zu können, sind in den Abbildung 5 - Abbildung 7 einige Fotografien von gestalteten Holzflächen dargestellt.



Abbildung 5: punktuelle Akzentuierung in einer Fläche, ein "Spot "



Abbildung 6: Bild mit hellem Kreis und Fladerfüllung



Abbildung 7: Boden mit "Kreuzung"

Die Gestaltung der Abbildungen 5 – 7 wurden mit Lamellen der Holzart Eiche (*Quercus* sp.) durchgeführt. Die Entwicklung eines alternativen Sortierkonzepts, ausgeführt als Machbarkeitsstudie, wurde an dieser Holzart demonstriert. Alle weiteren Konzepte insbesondere die der Produktionslogistik verwendeten als Grundlage ihrer Arbeiten die gesamte Angebotspalette der Referenzfirma. Diese beinhaltet nicht nur bis zu 19 Holzarten sondern auch mindestens zwei Oberflächenbehandlungen und bis zu fünf Sortierklassen.

Zweiter Bereich des Projektes ist die Entwicklung und Simulation neuer Produktionskonzepte. Die Adaptierung der Produktion in Richtung individueller Produkte war ein relevanter Teil des Projektes.

Möbelhersteller fingen schon in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts an, Möbelstücke individualisiert mithilfe von standardisierten Modulen zu produzieren. Dem Endverbraucher wurde es damit möglich, sich seine persönlichen, auf ihn und seine Lebens- und Raumsituation abgestimmten Möbel fertigen zu lassen, bzw. selbst zusammenzubauen. Das Vorhandensein dieses Bedürfnisses spiegelt sich auch im stetigen Wachstum und Expansionsstreben der Do-It-Yourself (DIY) Baumarktketten wieder. Wenn früher Einzelstücke nur beim Tischler teuer gefertigt werden konnten, wurde eine Individualisierung des täglichen Lebensumfelds sukzessive für eine breitere Masse an Menschen immer erschwinglicher. Anwendungen des Konzeptes der Mass Customization (MC), also der kundenindividuellen Massenfertigung, finden sich im Bereich der Holzverarbeitenden Industrie (HVI) heutzutage noch immer vor allem im Bereich der individualisierten Möbelproduktion (Sigg & Jonas 2003). Laut einer Delphi-Studie der Holz verarbeitenden Industrie des Fraunhofer Institute for Manufacturing, Engineering and Automation sollen 2010 schon über 25% aller produzierten Möbel in industriellem Maßstab in der Losgröße 1 produziert werden (ProWood 2004). Lösungen für individualisierte Möbelproduktion, wie z.B. für Küchen (Johnstone 1994) stellen keine Herausforderung mehr für die HVI dar. In dieser Studie wurden theoretische Ansätze aus dem Produktionsmanagement auf die Branche der Parkettherstellung und ihre Prozesse umgelegt. Es wurde erforscht, ob neuartige Produktionsprozesse, eine Grundvoraussetzung für ein Anbieten neuer, individualisierter Produkte und Dienstleistungen darstellen. Wichtiger Entwicklungspunkt stellt die Frage, welche Prozesse in einer Branche initialisiert werden können, deren prinzipielle Produktionsprozesse und -logistik sich innerhalb der letzten 30 Jahre nicht wesentlich verändert haben, abgesehen von technologischen Fortschritten in der Automatisierung mancher Arbeitsschritte (vgl. Kisseloff 1974).

Geschichte der Holzböden

Erste Arbeiten am Projekt beschäftigten sich mit der Suche und Zusammenfassung von Parkettliteratur. Dabei musste festgestellt werden, dass bisher wenig wissenschaftliche Arbeiten mit direktem Bezug zur Parkettproduktion, Rohstoffaufbereitung und Vermarktung veröffentlicht wurden. Ein Basiswerk in Form eines Buches wurde in zwei Auflagen 1961 und 1964 aufgelegt (Parkett, 1964). Darin ist die Artenvielfalt und deren Produktion in diversen Beiträgen dargestellt sowie verschiedene Oberflächenbehandlungen. Branchenzeitungen handelten von Verlege- und Konstruktionsfehlern sowie von der Vermeidung derselbigen (z. B. Boden-Wand-Decke, verschiedene Ausgaben).

Die Verwendung von Brettern als Boden dauert nahezu so lange wie die Geschichte des sesshaften Menschen. Ausgrabungen des Tempels von König Salomon (ca. 1000 vor Chr.) brachten bereits Hinweise auf die Verwendung von Hölzern in Form von Parkettböden. In Europa weisen urkundliche Erwähnungen auf Holzböden ab Mitte des 13. Jahrhunderts hin. Diese Böden bestanden hauptsächlich aus Nadelholzpfehlen. Erst in der Renaissance entstanden Gliederungen des Bodens durch Hartholzfriesen. Mit der Baukunst im Barock

erreichte auch die Bodengestaltung einen Höhepunkt. Einlegearbeiten und bildhafte Darstellungen der Gesellschaft waren die Meisterleistungen des damaligen Holzfußbodenbaus, welche auch heute oft noch mit Recht bewundert werden. Die darauf folgende Zeit ist durch Einfachheit und „stille Größe“ geprägt. Im Fußbodenbau werden hauptsächlich kleinteilige Parketttafeln mit schlichten geometrischen Formen bevorzugt. Der vorletzte prägende Schritt ist die Teilung des Bodens in kleine rechteckige Einzelteile. Der so genannte Stabparkett besteht aus Massivholzstäben, welche eine Dicke von mindestens 20mm aufweisen und einzeln auf einem Unterboden befestigt werden. Diese kleinen Einheiten ermöglichen eine Vielzahl an Gestaltungsvarianten mit dem Nachteil einer langen Verlegezeit.

Die steigenden Lohnkosten sowie der höhere Preis des Laubholzes gegenüber Nadelholz bewirkten neue Entwicklungen. Die Kombination von dünneren Laubholzbrettern und die Platzierung derselben auf einem Nadelholztragekörper ergab die Konstruktion eines Mehrschichtparketts.

Die Geschichte und Entwicklung der Sortierung und der Sortierkriterien

Erste Schritte in der Entwicklung regionaler Sortierkriterien wurden bereits ab Mitte des 19. Jahrhunderts gemacht. Das Wort „sortieren“ leitet sich aus dem Lateinischen ab und bedeutet soviel wie sichten, aussondern, auslesen. Dem entsprechend ist die Holzsortierung eine Sichtung und Aussonderung nach bestimmten Strukturen und Merkmalen.

Durch die Sortierung nach messbaren und bewertbaren Merkmalen wird das Schnittholz erst handelbar. Die Einordnung in verschiedene Klassen kommt den Anforderungen des Marktes nach, und jeder Verbraucher weiß, welche Klasse er für seine Produkte benötigt.

Die geschichtliche Entwicklung ist stark mit der Industrialisierung verbunden. Während bis dahin die Produkte nach Auftrag eingeschnitten wurden, bildeten sich allmählich gewisse Verbrauchssorten heraus.

Die Verfeinerung und Ausweitung der Sortimente ergab sich aus den immer höheren Mengen und größeren Differenzierungen des von den Weiterverarbeitern und Endverbrauchern nachgefragten Schnittholzes. Auf Initiative des Holzhandels, der Handelskammern und anderer Korporationen fasste man um 1880 Abmachungen schriftlich als Handelsbrauch zusammen (König 1967).

Durch eine strikte Einteilung der Strukturen können gezielt geplante optische Wirkungen erzeugt werden. Die Größe der Lamellen beeinflusst dabei die Präzision der erzeugten Bilder. Die Textur und eine etwaige darauf basierende Gestaltung hängen von den Abmessungen des Baumes und der geplanten Lamellengröße ab. Da die Abmessungen von jedem Produzenten beliebig definiert werden können, besteht durch genaue Anleitungen an die Lieferanten die Möglichkeit den Einschnitt den Planungen anzupassen. Die Möglichkeiten und verschiedenen Varianten sind in einem Parkett-Konfigurator übersichtlich aufzubereiten, damit die Kundschaft in vertretbarer Zeit zu ihrem individuellen Boden findet.

Das Aussehen ist durch einfache kontrastierende Effekte (hell – dunkel, gestreift – fladrig) leicht zu beeinflussen. Eben durch diese Einteilung der Attribute in mehrere Klassen stehen sie auch zur Verfügung und eine bewusste Verwendung der natürlichen Ausprägung wird möglich.

Hinsichtlich der aktuellen Fertigung von Dreischichtparkett ergeben sich auch gewisse Nachteile. Einige „Trade offs“, welche nicht den Grundideen einer „Mass Customization“ entsprechen, müssen als unveränderbar hingenommen werden. Diese Nachteile sind eine aufwendigere Sortierung, längere Lieferzeiten und dadurch eine nur mehr bedingt der Mass Customization entsprechenden Fertigung, die sich prinzipiell an den Vorgaben der derzeitigen

Produktionsweise orientiert. Die dargestellten Bilder stellen zwei Möglichkeiten der Gestaltung mittels Sortierung der Strukturen dar. Bei sehr aufwendigen mit mehreren Farb- und Texturklassen ausgestatteten Fertigungen können, wie in Abbildung 8 dargestellt, sehr wirkungsvolle und annähernd stufenlose Übergänge erreicht werden. Eine weitere Eigenschaft hochauflösender Sortierung zeigt die Abbildung 9. Am Beispiel des Baumes kann gezeigt werden, dass fast keine Abstriche in der Ideenentfaltung gemacht werden müssen.



Abbildung 8: Gleitender Übergang von hell zu dunkel



Abbildung 9: Darstellung eines Baumes

Ein weiterer wichtiger Teil des Projektes untersucht die Machbarkeit der Umsetzung neuer Ansätze in der Produktionslogistik der Parkettindustrie. Hierzu werden anhand eines konkreten Produktionsprozesses eines Betriebes mithilfe einer Prozessanalyse bestehende Produktionsprozesse aufgenommen und modelliert. Eine Erhebung aktueller Vorgangsweisen zur Produktion von „fehlerfreien“ Holzprodukten ist die Ausgangsbasis für die Erfassung von

kundenindividuellen Produktionsstrategien in der Holzbearbeitung und bei der Parkettproduktion. Die Identifizierung von so genannten Entkopplungspunkten im Standardprozess in Bezug auf die Kundeneinflussnahme ist der erste Schritt, um eine neuartige Fertigungsorganisation und ihre Auswirkungen auf die gesamte Supply Chain konzipieren zu können. Diese Neukonzeption der gesamten Prozesskette einer Parkettproduktion auf Grundlage der vorangegangenen Erhebungen der Rahmenbedingungen bildet wiederum die Basis für ein Simulationsmodell dieser neuartigen Parkettproduktion. Anhand dieses Modells werden Analysen durchgeführt, um die Machbarkeit neuer Konzepte in verschiedensten Ausprägungen zu testen. Ihre Auswirkungen auf produktionslogistische Kennzahlen werden mit der Ist-Situation verglichen. Aus den Ergebnissen der Analyse werden wiederum Schlussfolgerungen bezüglich der Machbarkeit dieser Neukonzeption gezogen.

In der wissenschaftlichen Forschung nehmen Strategien und Konzepte zur Massenindividualisierung von Produkten bereits einen breiten Raum ein. Mass Customization (MC) und Postponement (PP) als Produktionsstrategien sind in der Wissenschaft erstmals in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts erwähnt worden (Bucklin 1965).

Der Begriff Mass Customization verbindet zwei gänzlich gegensätzliche Produktionskonzepte, nämlich Massenproduktion und Individualisierung. In den 1990ern wurden MC und die dazugehörigen Produktionsstrategien als Forschungsobjekt weiter aufgegriffen (vgl. Pine 1993). Im deutschen Sprachraum beschäftigt sich vor allem Piller (siehe Piller 2000) auf marketing-technischer Ebene mit kundenindividueller Massenfertigung. Operationale Aspekte der Produktion und Logistik von Mass Customization können aber als in der Forschung, abgesehen von einigen Fallstudien und der fallweisen Behandlung von numerischen Teilproblemen der Produktion, als unterrepräsentiert bezeichnet werden (Ahlstrom und Westbrook 1999). Erst in den letzten Jahren und Monaten kann ein erhöhter Publikations-Output zum Thema festgestellt werden.

McCarthy (2004) definiert MC als die Fähigkeit von Unternehmen, einen relativ hohen Output an verschiedenen Produktvarianten für einen relativ großen Markt, welcher nach individualisierten Produkten verlangt, zu produzieren, ohne dabei Trade-Offs in den Kosten, der Qualität oder den Lieferzeiten gegenüber einer Massenproduktion standardisierter Güter in Kauf zu nehmen. Dazu bedient sich MC verschiedenster Technologien und Konzepte entlang der gesamten Lieferkette, vom Kundenerstkontakt über Internet-Technologien, der Produktindividualisierung mittels tool-gestützter Produktkonfiguratoren, modularisierter Produkt- und Prozessstrategien sowie dem Einsatz von Postponement Konzepten der Fertigungs- und Lieferungslogistik. Es lassen sich vier Strategien der MC unterscheiden. (vgl. Tabelle 1, erstellt in Anlehnung an Swaminathan 2001)

Tabelle 1: Mass Customization-Strategien

	Prozess Nicht Modular	Prozess Modular
Produkt Nicht Modular	Produkt – Standardisierung: Große Anzahl an Produkten in geringen Anzahl auf Lager, bei Nichtverfügbarkeit Produktion oder Upgrade für Kunden, hoher „Schein-Servicegrad“	Beschaffungsstandardisierung: Nutzung von Skaleneffekten durch gemeinsamen Einkauf von gleichen Komponenten, Anlagen und Maschinen
Produkt Modular	Teile – Standardisierung: Nutzung der Gemeinsamkeiten von Komponenten für verschiedene Produkte, „Plattformstrategie“	Prozess-Standardisierung: Verschiebung der Individualisierung soweit wie möglich ans Ende der Supply Chain → Postponement

Postponement ist, wie auch oben ersichtlich, eine der Strategien, mithilfe derer Mass Customization als (Produktions-) Konzept verfolgt werden kann. Eine Voraussetzung für PP ist eine Modularität von Produkten und Prozessen. Modularität bei Produkten bedeutet, dass diese aus verschiedenen Komponenten oder Modulen zusammengesetzt werden können; Modularität bei Prozessen bedeutet, dass eine Unterteilung des Produktionsprozesses in verschiedene Produktionsschritte möglich ist, wobei verschiedene (Halb-) Fertigprodukte auch verschiedene Produktionsprozesse durchlaufen können. Postponement wird definiert als die Organisation der Produktion und Distribution von Produkten mit dem Ziel, die Produktindividualisierung so nahe wie möglich an dem (zeitlichen) Punkt vorzunehmen, an dem die Nachfrage so weit wie möglich bereits bekannt ist (Villarreal et al. 2000).

Ein wichtiges Element von Postponement Konzepten ist die Identifikation des so genannten Customer Order Decoupling Point (CODP), also des Entkopplungspunkts innerhalb der Wertschöpfungskette, an dem einem bis dahin in Massenfertigung standardisiert produziertem Produkt ein spezieller Kundenauftrag zugeordnet wird und danach die Individualisierung des Produkts stattfindet.

Gerade im Bereich der Holzwirtschaft finden sich aber diese modernen Managementkonzepte noch selten. Große Beraterfirmen für die Holzbranche haben die Notwendigkeit aber bereits erkannt und im Rahmen der Messe für die Holzindustrie „Ligna+ 2003“ thematisiert (vgl. Schieber et al. 2003, Schaper 2003, Anonym 2003).

Betriebswirtschaftliche (und hier vor allem produktionslogistische) Konzepte in der Holzwirtschaft nehmen in der Forschung noch wenig Raum ein, obwohl die Einzigartigkeit der natürlichen Ressource Holz in Verbindung mit modernen Konzepten der BWL mehr Aufmerksamkeit verdienen würde. Relevante Beiträge zur Thematik der hier betrachteten Parkettproduktion stammen aus den Jahren 1995 respektive 1974 und sind einerseits entweder wettbewerbstheoretisch auf eine aggregierten Makroebene zentriert oder aber stark technologisch orientiert (vgl. Hamberger 1995 bzw. Kisseloff 1974).

Als wichtige Arbeiten in der Darstellung und Untersuchung von Produktionsprozessen in der Holzindustrie sind vor allem Simulationsstudien für Anlagen der Spanplattenproduktion in Österreich und Frankreich für einen bedeutenden österreichischen Spanplattenhersteller zu nennen. An beiden Standorten wurden umfassende Anpassungen im Kapazitätsangebot geplant. Zur Validierung der geplanten Maßnahmen wurde im Zuge einer Materialflussanalyse die Leistungsfähigkeit der innerbetrieblichen Logistik betrachtet (Gronalt 2001).

2 Inhalte und Ergebnisse dargestellt anhand der Arbeitspakete

2.1 Allgemeines:

Die Komplexität einer Holzsortierung, die Vorgaben von Postponement-Strategien und Mass Customization sowie die mannigfaltigen Gestaltungsmöglichkeiten erforderten jeweils separate Herangehensweisen an das Thema der „Industriellen Holzmanufaktur“. Manche Bereiche, wie der notwendige neue Sortieransatz konnten ohne notwendige direkte Beziehung zur Parkettfertigung entwickelt werden. Die Simulation der Produktionsabschnitte inklusive aller Kundenaufträge, deren Befriedung und das Verhältnis von Produktion zu Nachfrage wurden anhand der betrieblichen Aufnahme einer Dreischichtparkettproduktion aufgebaut. Einige der ausgearbeiteten neuen Produktionsansätze wurden nach Adaptierung der Simulation damit getestet.

2.2 Arbeitspaket 1: Feststellung des Status-Quo in der Parkettfabrikation

2.2.1 Status-Quo-Analyse der Standardisierung ästhetischer Holzeigenschaften in Europa.

Der Naturstoff Holz hat viele verschiedene Ausprägungen. Das macht ihn zu einem automatisiert sehr schwer einzuschätzenden Werkstoff. Die automatisierte Bearbeitung erfordert eine genaue Einteilung der verschiedenen Attribute in Klassen.

Diese Sortierung der Rohfrieße für die Parkettproduktion ist nach wie vor auf die generell als Fehler bezeichneten Merkmale bezogen und inkludiert im weiteren Sinne eine Wertung der Holzqualität. Die Sortierung nach EN 13226, 13227, 13228 und 13488, 13489 erfolgt in drei Klassen mit den Bezeichnungen O, Δ und \square .

In der Klasse \square ist nur merkmalfreies Holz mit kleinsten Ästen und jeder Form von Textur erlaubt. Größere Astdurchmesser, Farbunterschiede und Splint ist in der Klasse Δ zulässig. In der dritten Klasse kann alles vorhanden sein, was die Festigkeit des Bodens nicht beeinträchtigt. In den Firmen sind diese Sortierregeln weitestgehend nicht vorhanden. Der Grund liegt in der Anlehnung der Sortiergebräuche an die langjährig geltende, mittlerweile durch die Europäischen Normen ersetzte, ÖNORM B3000 (siehe Abbildung 10). Die Lamellen werden in diesen Normen nach ihrem Erscheinungsbild eingeteilt und Exquisit, Natur, Gestreift und Rustikal genannt. Diese Namen der verschiedenen Klassen entsprechen in etwa dem visuellen Gesamteindruck. Die Parketterzeuger haben ihre Produkte mit ähnlichen Namen bezeichnet, da in den Normen der CEN (Europäisches Komitee für Normung) die Möglichkeit besteht, firmenintern Klassen zu definieren. Die Bezeichnung der Klassen ist den Produzenten überlassen, jedoch sind diese nach dem Schema des Anhangs B der entsprechenden Europäischen Norm zu beschreiben.



Abbildung 10: Darstellung der herkömmlichen Sortierklassen nach ÖNORM B3000

2.2.2 Evaluierung der Begriffe „Qualität“ und „Merkmal“/ „Fehler“ in der Holzindustrie

Die aktuellen Verkaufstrategien werten gerade, schlichte Lamellen ohne Äste und Farbunterschiede höher als solche mit Flader und Splint. Daher wird eine ruhig erscheinende Diele als qualitativ höher angesehen.

Als Fehler werden derzeit noch alle Merkmale, die sich von einer schlichten Lamelle unterscheiden, bezeichnet. Selbst Fladertextur ist in der höchsten und damit teuersten Qualitätsklasse mancher Parkettproduzenten nicht erlaubt. Die Differenzierung zwischen dem wertenden Begriff „Fehler“ und dem wertfreien Begriff „Merkmal“ findet erst allmählich Eingang in die Nomenklatur und vor allen das Bewusstsein der Holzver- und -bearbeiter (Teischinger, Wimmer1998).

Definition **Holzmerkmal**:

Merkmale des Holzes entstehen durch Wuchs und externe Einflüsse, welche auf Wuchs einwirken. Grundsätzlich sind alle den natürlichen Wuchs betreffenden Unregelmäßigkeiten als Merkmale zu betrachten (Holzlexikon 2003).

Definition **Holzfehler**:

Alle Ausprägungen, die eine Verwendung außer der thermischen Verwertung verhindern (Holzlexikon 2003) bzw. alle den normalen Gebrauchswert beeinträchtigenden Abweichungen von der normalen Beschaffenheit des Holzes (König 1957).

Definition **Anwendungsfehler**:

Für das geplante Einsatzgebiet/Produkt nicht geeignete Merkmalsausprägung eines Stück. Holzes. Das als Anwendungsfehler bezeichnete Holzmerkmal wirkt dabei bei der betrachteten Anwendung/Produkt funktionsstörend. Die Schwelle für die funktionsstörende Wirkung eines Merkmals ist jeweils anwendungs-/produktspezifisch festzulegen.

Definition **Dreischichtparkett**:

Dreischichtparkett gehört zur Gruppe der Mehrschichtparkette. Er besteht aus einem, dreilagigen Aufbau. Die oberste, sichtbare Schicht wird durch Massivholz verschiedenster Holzarten gebildet. Sie bildet das charakterisierende Element des Bodens. Die Mittelschicht besteht aus Nadelholzstäbchen, welche auf die Gegenzugschicht geleimt sind und einen

Absperreffekt bewirken. Die unterste Schicht, der so genannte Gegenzug, besteht aus einem ca. 3mm dicken Furnier aus Nadelholz.

2.2.3 Erhebung aktueller Vorgangsweisen zur Produktion von „fehlerfreien“ Holzprodukten (Parkett)

Der aktuelle technische Stand der Produktion von Dreischichtparkett spiegelt sich in der Anlagenanordnung renommierter Produzenten wieder (siehe Abbildung 11). Wichtig für die Fertigung hochqualitativer Parkettböden ist ein gut entwickeltes Qualitätsmanagement sowie das Know-how, wie mit dem Rohmaterial Massivholz umzugehen ist. Natürlich ist die Verwendung der neuesten Maschinen zum Teil unumgänglich, da z.B. spezielle Oberflächenmaterialien nur mit neuesten Auftragsanlagen in erwarteter Qualität aufgebracht werden können. Derartige Fortschritte sind auch in der Dünnschnitttechnologie zum Auftrennen der Friese in Lamellen zu beobachten.

Die schematische Darstellung (Abbildung 11) zeigt eine Anordnung der Produktionsschritte einer aktuellen Fertigungsanlage für Dreischichtparkett. In dieser sind nach jedem Bearbeitungsbereich Pufferlager eingeplant, um die Fertigung beim Ausfall einer Anlage nicht komplett stilllegen zu müssen. Bestimmte Akklimatisationszeiten sind nach jedem Feuchtigkeitseintrag einzuhalten, da die Feuchtigkeit der Decklage bzw. der Diele über den gesamten Querschnitt für die weitere Produktion gleich sein soll. Im Gegenzug ist die Weiterverarbeitung nach manchen Bearbeitungen innerhalb einer bestimmten Zeit zu vollziehen, da ansonsten vorgegebene Qualitätskriterien kaum noch zu erfüllen sind.

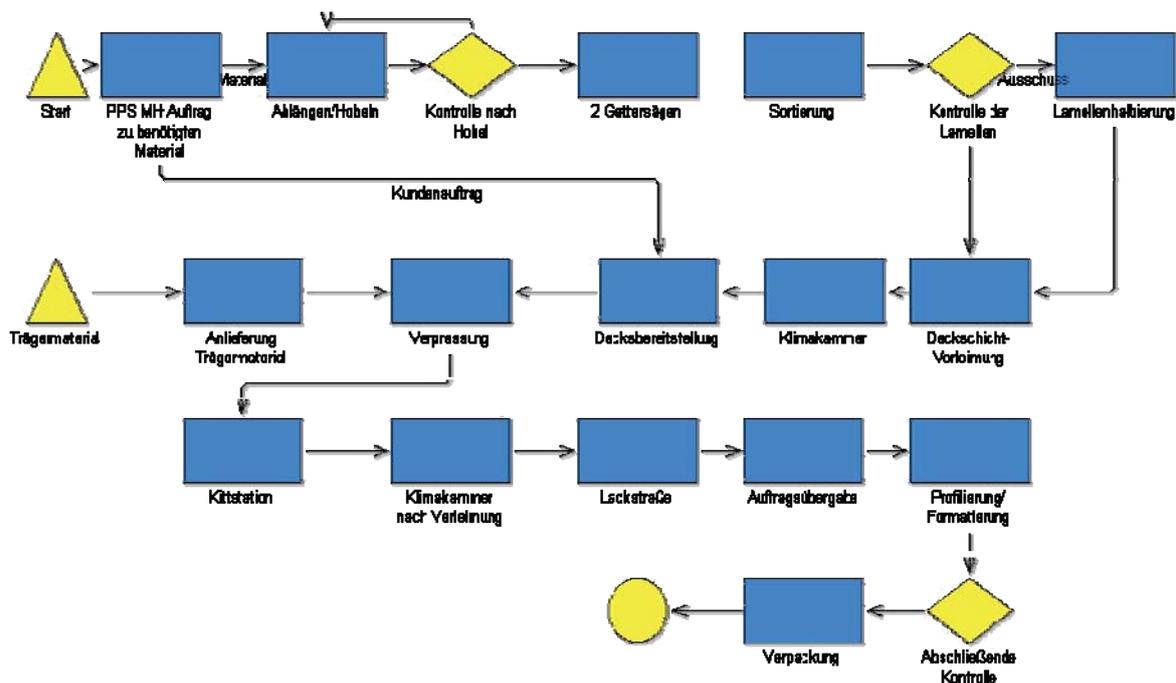


Abbildung 11: Schema einer aktuellen Fertigfußbodenproduktion (eigene Darstellung)

Der entscheidende Punkt für das Aussehen einer Diele ist die Sortierung. Diese beginnt bereits beim Zuschnitt der Rohfriese durch Vorgaben an die Zulieferer. Zusätzliche Sortierpunkte sind nach der Hobelanlage und vor der Verpackung, um die Qualität einer entsprechenden Kontrolle zu unterziehen. Die Hauptsortierung ist jedoch nach der Dünnschnittanlage platziert. Hier werden die Lamellen in ihre Sortierklasse eingeteilt. Bis vor kurzem wurde dieser Teil der Produktion meist von gut geschulten und trainierten MitarbeiterInnen vorgenommen. Trotz der besonderen Konzentrationfähigkeit und Qualifikation dieser MitarbeiterInnen ist die Sortierung einer gewissen Subjektivität unterworfen. Die Entwicklung opto-elektronischer Sortieranlagen erreichte bereits eine so

hohe Qualität, dass damit eine höhere Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit als mit der Humansortierung erreicht werden kann.

2.2.4 Erfassung von Postponement - Strategien in der Holzbearbeitung

In vielen Branchen, wie z.B. in der Bekleidungsindustrie (vgl. Dapiran 1992) oder Computer- und Unterhaltungselektronik (vgl. Feitzinger und Lee 1997) ist das Product Postponement bereits eine übliche Prozessmanagementstrategie, um möglichst viele Arbeitsschritte hoch industrialisiert durchführen zu können, aber trotzdem so nahe wie möglich an die verschiedenen Kundenwünsche und -anforderungen heranzukommen.

Reiner (2005) untersucht die Kundenzufriedenheit nach Einführung einer Postponement - Strategie (Labelling) bei einem Zulieferer in der Telekommunikationsindustrie mithilfe von Simulationsmodellen. Er zeigt, dass Postponement als Prozess-Strategie erhebliches Potential für kundenorientierte Verbesserungen aufweist.

Gerade im Bereich der Holzwirtschaft finden sich diese modernen Managementkonzepte noch selten. Große Beraterfirmen für die Holzbranche haben die Notwendigkeit aber bereits erkannt und haben es im Rahmen der weltgrößten Messe für die Holzindustrie „Ligna+ 2003“ thematisiert (vgl. z.B. Schieber et al. 2003, Schaper 2003, Anonym 2003).

2.2.5 Entwicklung und Durchführung einer Prozessanalyse in ausgesuchten Betrieben

Den ersten wichtigen Schritt im Projekt stellte die Analyse der heute angewandten Produktionsprozesse der Herstellung von Dreischichtparkett dar. Dafür konnte ein großer Hersteller von Naturfußböden zur Kooperation gewonnen werden. Im Rahmen der Grobanalyse des Produktionsprozesses von Dreischichtparkett wurde im November 2004 erstmals der Betrieb besichtigt. Im Rahmen einer Führung durch die Produktionshallen wurde ein erster Einblick in die Herstellung von Parkettböden gewonnen. Ergebnis dieser ersten Analyse des Produktionsprozesses war eine allgemeine Darstellung der wesentlichen Schritte zur Herstellung von Dreischichtparkett Böden. Dazu gehören Ablaufgrafiken, die alle wesentlichen Teilbereiche des analysierten Produktionsprozesses abdeckten. Die einzelnen analysierten Teilprozesse wurden hernach strukturiert in einer Gesamtprozess-Grafik aufbereitet und bilden das Ergebnis der Ist-Prozess Aufnahme siehe Abbildung 12.

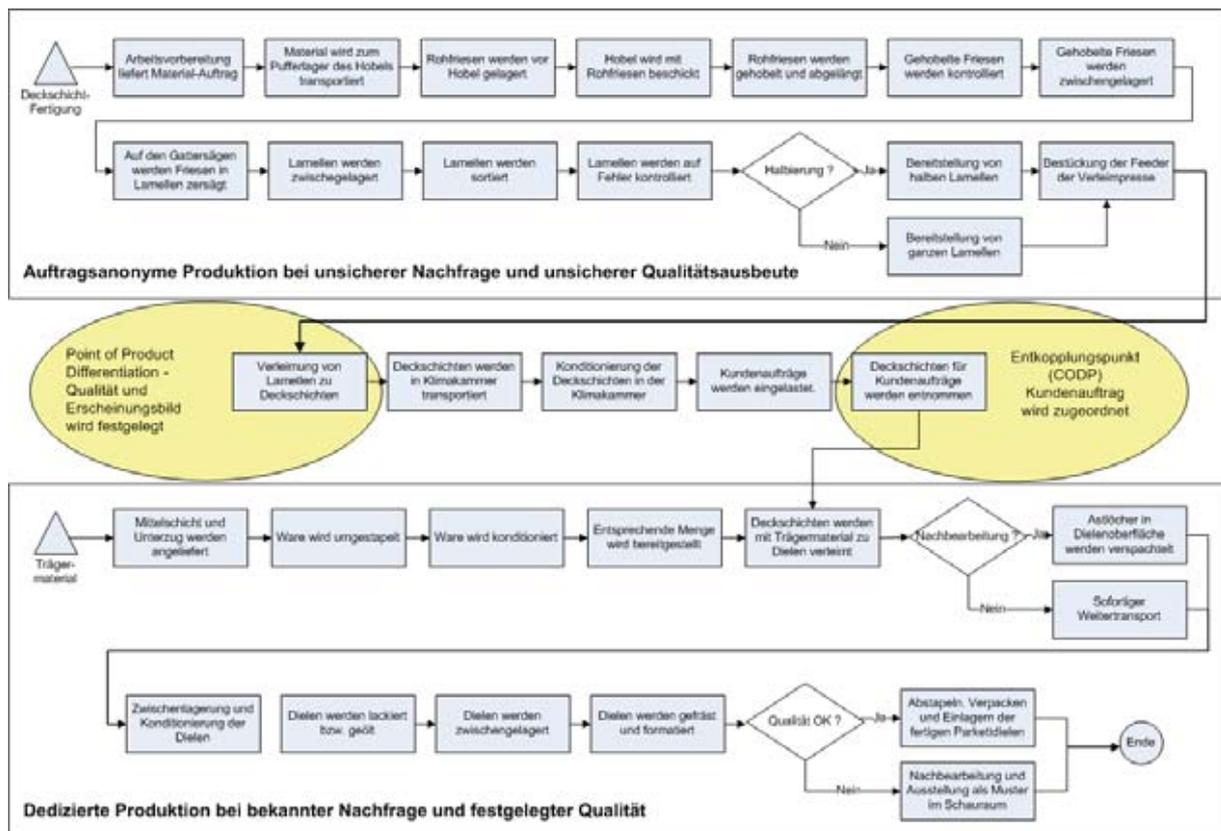


Abbildung 12: Produktionsprozesse Parkettindustrie

Im Groben kann die Produktion in die einzelnen Teilprozesse Hobeln/Ablängen/Auftrennen – Sortieren – Verleimen – Verpressen – Oberflächenbearbeitung – Formatierung – Verpackung mit mehrmaligen Zwischenschritten der Konditionierung des Materials und der Qualitätskontrolle aufgebrochen werden.

Der Rohstoff Holz in Form so genannter Rohfriesen wird zuerst in Holztrochungskammern getrocknet, bevor mit der Verarbeitung begonnen wird. Die so vorbereiteten Rohfriesen werden im ersten Schritt auf allen vier Seiten gehobelt, und anschließend auf die geplante Länge abgelängt. Die gehobelten Friesen werden in einem nächsten Schritt mit einer Dünnschnittsäge in mehrere Millimeter dicke Lamellen aufgetrennt. Diese werden im darauf folgenden Sortierschritt einer Sortierklasse nach bestimmten Qualitätskriterien zugeteilt. Bei Mängeln oder nicht nutzbaren Holzmerkmalen werden die jeweiligen Lamellen aussortiert. Diese Sortierung erfolgte lange Zeit manuell, während in den letzten Jahren der Trend zu einer opto-elektronisch Sortierung zugenommen hat. Heute arbeiten opto-elektronische Sortieranlagen unter ständiger Kontrolle von geschultem Sortierpersonal. Bei Ausnützen aller Fähigkeiten besitzt eine opto-elektronische Sortiermaschine eine höhere Sortierkapazität und eine gleichmäßigeres Ergebnis als die manuelle Sortierung, wobei technisch noch nicht ausgereifte Maschinen zu Verzögerungen und technischen Schwierigkeiten führen können. Wo auch immer möglich, werden aussortierte Lamellen halbiert, um die verwendbare Hälfte im Verlegebild der Dielen nutzen zu können. Anschließend werden die Lamellen nach bestimmten Richtlinien miteinander verleimt, wobei zumindest die Holzart der miteinander verleimten Lamellen aufgrund unterschiedlichen Quell- und Trocknungsverhaltens immer gleich behalten werden muss.

Nach der Verleimung müssen die produzierten Deckschichten eine bestimmte Zeit in Klimakammern gelagert werden. Als Klimakammer werden abgeschlossene Kammern mit festgelegter Raumtemperatur und Luftfeuchte bezeichnet, in denen den verleimten Decklagen

Zeit gegeben wird, den Wassereintrag infolge der Verleimung auszugleichen. Das Minimum der Lagerungszeit beträgt drei Tage. Erst nach Ablauf dieser Zeit ist die Weiterverarbeitung möglich, da es sonst wegen des Arbeitens des Holzes zum Verziehen der Decklagen kommen könnte, worunter natürlich die Qualität der verkauften Produkte leiden würde. Laut den erhobenen Informationen ist eine längere Aufbewahrung der verleimten Deckschichten vom technischen Standpunkt aus gesehen kein Problem, allerdings bedeutet dies wiederum einer höhere Auslastung dieser Klimakammer.

Die Klimakammer stellt den Entkoppelungspunkt (CODP) innerhalb des Produktionsprozesses dar. Ab diesem Zeitpunkt erfolgt die weitere Produktion auf Basis von Kundenaufträgen. Bis zum Zeitpunkt der Einlagerung in die Klimakammer wird unabhängig von Kundenaufträgen produziert. Einzig die Anweisungen der Produktionssteuerung, also die Festlegung der zu bearbeiteten Holzarten sind abhängig von den vorliegenden Kundenaufträgen, die nicht aus dem Lager erfüllt werden können. Somit besteht zwar ein Zusammenhang zwischen den gewünschten Kundenaufträgen und dem Rohstoff-Input der Produktion. Die Merkmale der eingeschnittenen Lamellen und damit ihre Qualitätsausprägung können allerdings nicht beeinflusst werden.

Nach Ablauf der Trocknungszeit wird die produzierte Deckschicht mit bereits zusammengefügter Mittel- und Unterschicht verleimt. Die Mittel- und Unterschichten bestehen aus Nadelholz wie etwa Fichte oder Kiefer. Verleimt werden Deck- und Unterschichten in so genannten Mehretagenpressen im Heiß- oder Kaltverfahren. Der jeweilige Presszyklus ist abhängig von der Dicke des Deckbelags bzw. der Rückseite sowie den Eigenschaften des Klebers. Die fertigen Parkettdielen werden wiederum in Klimakammern zwischengelagert, um abzukühlen und die Feuchtigkeitsdifferenzen innerhalb der Dielen auszugleichen. Die Trocknungszeit ist wiederum abhängig von der bearbeiteten Holzart, aber auch vom verwendeten Leimsystem. Nach der zweiten Trockenphase innerhalb des Produktionsprozesses werden die Dielen zunächst geschliffen, wobei mehrere Schleifbänder mit unterschiedlichen Körnungen hintereinander geschaltet werden. Kleinere Risse in der Oberfläche der Dielen werden gespachtelt und die Dielen nochmals geschliffen. Die Dielen werden im Anschluss je nach Kundenwunsch roh weiterverarbeitet bzw. entweder geölt oder mit (mehreren Schichten) Lack überzogen. Abschließend erfolgt eine Formatierung auf Fräsmaschinen, wobei je nach Unternehmen verschiedene Formatierungen in Frage kommen. Die fertigen Parkettdielen werden entsprechend verpackt und bis zur Lieferung an den Kunden im Fertigwarenlager gelagert.

Die Deckschichtverleimung stellt im Produktionsprozess den so genannten Point of Product Differentiation (PPD) dar, also den Punkt, an dem die Unterscheidung (im optischen Eindruck) der einzelnen Dielen stattfindet. Dieser Punkt stellt im Produktionsprozess nicht den Entkopplungspunkt (CODP) dar; die ersten Schritte der Produktion sind auftragsanonym, die Zuordnung der einzelnen Decks zu einem Kundenauftrag erfolgt erst nach der Klimakammer bei der Verpressung mit dem Trägermaterial. Diesem dadurch entstehenden Trade-Off zwischen dem CODP (Verpressung) und dem PPD (Sortierung und Deckschichtzusammenführung) stellt eine der zu bewältigenden Herausforderungen bei der Umsetzung kundenindividueller Produktion in der Parkettindustrie dar. Eine weitere Besonderheit besteht darin, dass die Holzqualität nicht vor Beginn der Produktion definitiv in der so genannten Rohfrieze bestimmt werden kann. Der Einkauf des Rohstoffs erfolgt zwar nach stichprobenartiger Qualitätsüberprüfung, diese kann aber nur die Kriterien „1seitig-fehlerfrei“ oder „4seitig-fehlerfrei“ feststellen, ein Blick ins Innere des Rohstoffs ist nicht möglich. Dies erfolgt erst innerhalb der ersten Produktionsschritte, bei denen der Rohstoff gehobelt und hernach in jeweils 5 dünne (3,6mm) Lamellen aufgetrennt wird. Erst hier

kommen Holzstrukturen wie Äste, Farbunterschiede und Textur zum Vorschein, je nach Auftreten dieser Strukturen erfolgt dann die Sortierung und Einteilung in Qualitätsklassen.

Während des gesamten Produktionsprozesses existieren Zeit- und Kapazitätsrestriktionen, die vor allem durch die Notwendigkeit der mehrmaligen Klimatisierung des Rohstoffs vor und während der Be- und Verarbeitung gegeben ist. So müssen die aufgetrennten Lamellen binnen 2-3 Tagen zu fertigen Decklagen weiterverarbeitet werden, nachher müssen diese Decklagen 3 Tage bis zu einer Woche klimatisiert werden und nach der Verpressung der Deckschicht mit Mittelschicht und Unterzug müssen die halbfertigen Dielen zwecks Trocknung des Leims wiederum mehrere Tage vor dem Arbeitsschritt der Lackierung klimatisiert werden.

2.3 Arbeitspaket 2: Darstellung der Rahmenbedingungen für eine neuartige und kundenspezifische Parkettproduktion

2.3.1 Ideensammlung hinsichtlich neuer Möglichkeiten einer naturnahen Sortierung/Bewertung von Holz

Die Ausprägungen der Holzoberflächen können intuitive Wirkungen erzeugen. Je nach Sortieraufwand bzw. Präzision können die gewünschten Wirkungen stark hervortreten oder nur angedeutet erscheinen. Wirkungsvolle Effekte erzielen verschiedene Kontraste, aber durch die Verwendung von Abstufungen können Übergänge sehr gut gestaltet werden. Je vermischter und unregelmäßig verteilt die Kontraste sind, desto lebendiger, unruhiger wirkt der Boden. Wenig beeinflussbar sind in diesem Sinn die Übergänge von Kern- und Splintholz, einzig der Anteil des Splintes ist durch den Einschnitt steuerbar. Aber genau dieser als stark zu bezeichnende Hell - Dunkel - Kontrast kann als bewusstes Gestaltungsmerkmal genutzt werden.

Aufgrund dieser Überlegungen entstand der Entwurf der neuen Klassifizierung der Lamellen. Diese basiert auf drei Ausprägungen: Farbe, Textur, Merkmale. Gemeinsam bilden sie die (optische) Struktur einer Lamelle. Die einzelnen Ausprägungen stehen nicht für sich, sondern nehmen Einfluss aufeinander. Dies bringt den Vorteil einer geringeren Anzahl von Kategorien. In Abbildung 13 sind die Attribute und ihre möglichen Ausprägungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit abgebildet. Die Grafik deutet bereits auf die Komplexität des Vorhabens hin.

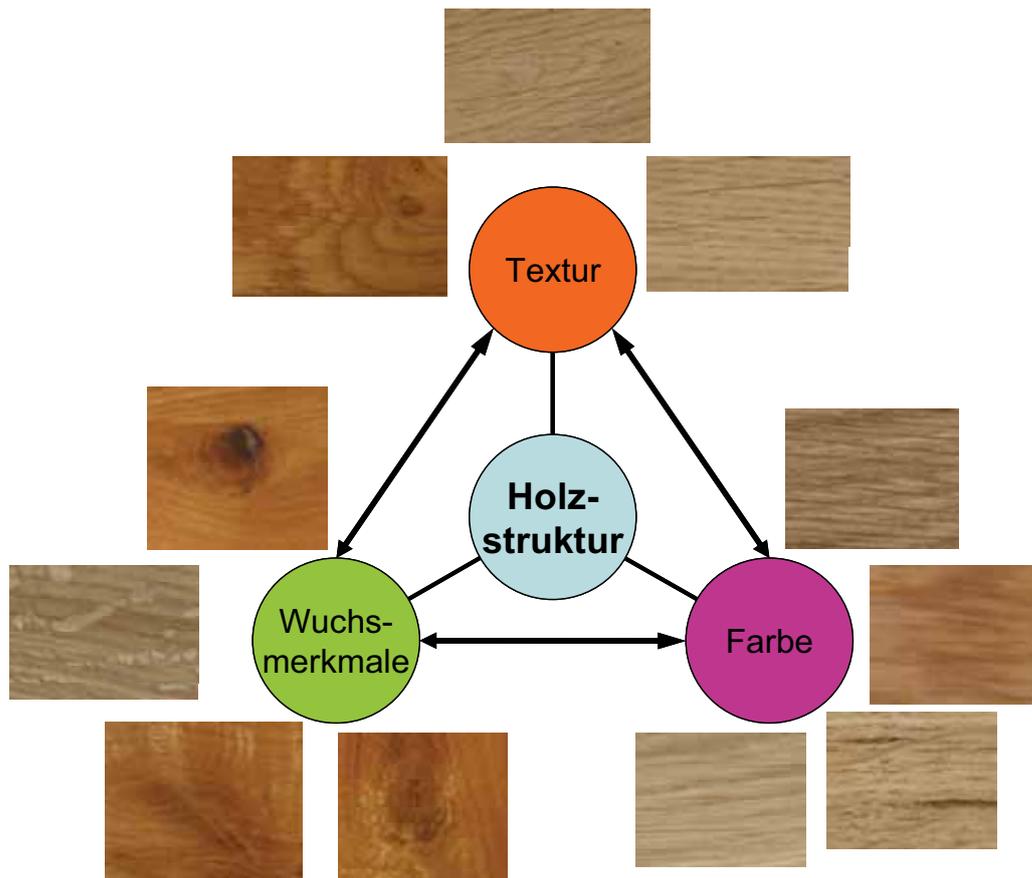


Abbildung 13: Übersicht der optischen Holzstrukturen (eigene Darstellung)

Klassifizierung und vereinfachte Beschreibung der Sortierkriterien

1. Textur: Lauf der Jahrringgrenzen
2. Farbe und Helligkeit: Abstufungen in Helligkeitsklassen
3. Wuchsmerkmale: teilweise vorhandene Unregelmäßigkeiten
 - Äste
 - Partielle Verfärbungen
 - Spiegel

ad 1.: Textur

Abhängig von der Schnitfführung ergeben sich durch die konzentrische Anordnung der Jahrringe unterschiedliche Strukturen. Prinzipiell gibt es drei verschiedene Schnittrichtungen. Basierend darauf kann man die resultierenden Lamellen in

- Gestreift (Edelrift, Rift)
- Gefladert (Flader)
- Übergang von gestreifter zu gefladerter Textur (Halbrift) einteilen.

In Abbildung 14 sind schematisch die Querschnitte der Lamellen dargestellt, wie sie bei den dazugehörigen Texturen auftreten.

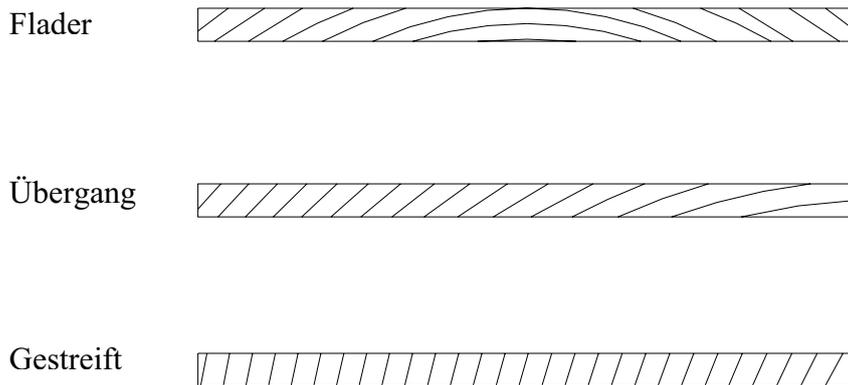


Abbildung 14: Querschnittsdarstellung der Texturen (Eigendarstellung)



Abbildung 15: gestreifte Textur



Abbildung 16: gefladerte Textur



Abbildung 17: Übergang Flader zu gestreifter Textur



Abbildung 18: gestreifte Textur mit Spiegel

Je nach Aussehen der Textur (Abbildung 15 - Abbildung 18) können unterschiedliche Wirkungen erzielt werden. Die gestreifte Struktur (Abbildung 15) vermittelt einen eher ruhigen Eindruck. Jedoch kann bei Holzarten mit stark ausgebildeten Holzstrahlen (z. B. *Quercus* sp., *Platanus acerifolia*) aufgrund des flächigen Anchnittes das Erscheinungsbild wieder deutlich unruhig werden (Abbildung 18). Bei Holzarten mit einerseits zwar hoher Anzahl an Holzstrahlen (*Fagus sylvatica*), jedoch geringer Größe derselben, bleibt der optische Eindruck ruhig. Der Flader (Abbildung 16) entsteht, wenn der Schnitt außerhalb der Mitte geführt wird (Flader- oder Tangentialschnitt). Das resultierende Bild zeigt eine parabelähnliche Figur.

Im Zuge der Überlegungen neue Sortierkriterien bzw. überhaupt eine neue Sortierung zu entwickeln, entstand die Frage, was denn momentan überhaupt in einer aktuellen Parkettproduktion an Material vorkommt, wie die Friese und Lamellen aussehen. Grobe Umrisse konnten durch Internet- und Prospektsuche gebildet werden. Im Zuge diverser Diskussionen wurde bald klar, dass das nicht ausreichend ist. Die Lösung war ein

Aufnahmebogen, eine entsprechende Erklärung und das Resultat die Beschreibung von 1350 Friesen der Rohholzklasse „Vierseitig Fehlerfrei“, die kurz darauf in Lamellen geschnitten wurden. Diese Sortierklasse erlaubt nur geringe Abweichungen vom geraden Wuchs und enthält wenige Merkmale von geringer Größe.

Das Ergebnis der opto-elektronischen Sortierung dieser Lamellen konnte ebenfalls gewonnen werden. Der Versuch eine Verbindung der beiden Sortierungen herzustellen, scheiterte allerdings. Die Gründe durften erstens in der nicht genau übereinstimmenden Menge liegen und zweitens in der zu unterschiedlichen Ausgangslage. Abbildung 19 zeigt ein Diagramm mit der selbstdefinierten Texturverteilung der untersuchten Frieße.

Die Textur wird wie oben beschrieben in drei Kategorien unterteilt. Die Anteile sind durch den Einschnitt regelbar. Die dargestellte Aufteilung ergab sich bei der Untersuchung. Eine genauere Aufteilung ist erst durch Aufnahme der Strukturen durch opto-elektronische Sortieranlagen möglich, da Schwankungen im Jahresverlauf, von Bestellung zu Bestellung und von Holzart zu Holzart gegeben sind.

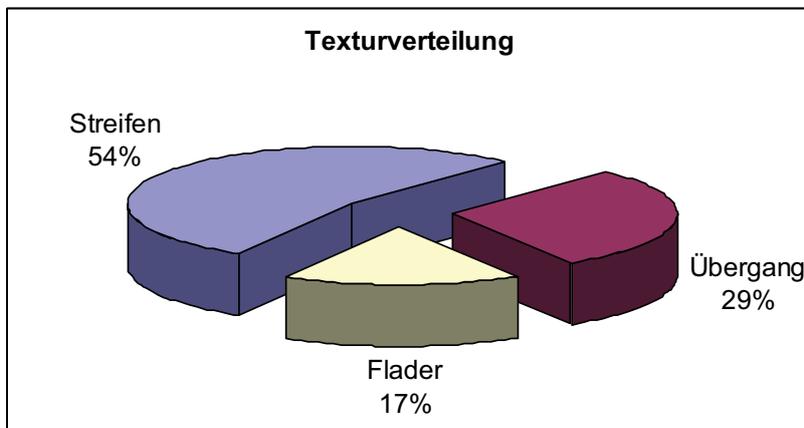


Abbildung 19: Anteile der Texturklassen in den untersuchten Friesen

ad 2.: Die Farbe des Holzes

Das Farbspektrum sowohl der einheimischen als auch der außereuropäischen Hölzer weist ein sehr hohes Spektrum auf. Darum kann man zwar den Grundton der einzelnen Holzarten beschreiben, jedoch ist die Schwankungsbreite innerhalb einer Holzart sehr hoch. Doch gerade diese Vielfalt gibt uns die Chance damit Oberflächen zu gestalten und auch farbliche Abstufungen der gleichen Holzart einzubringen.

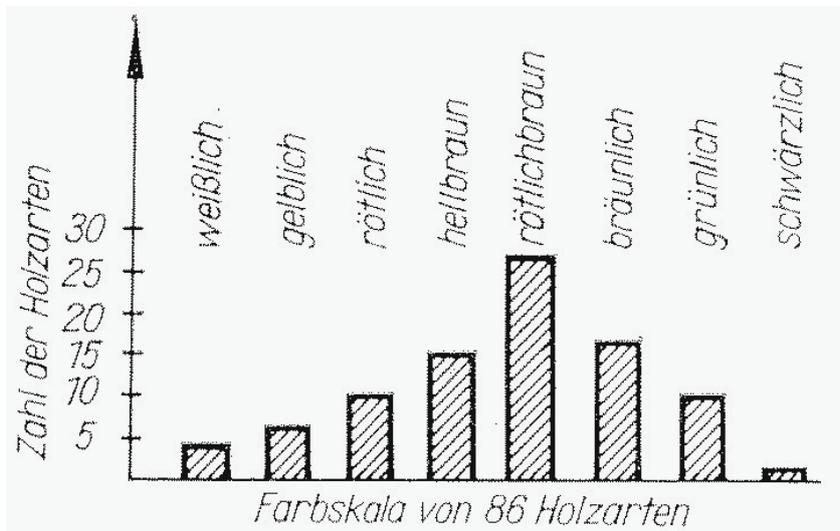


Abbildung 20: Aufteilung der Holzarten nach Grundfarben (Wagenführ 1996)

Die farbliche Einteilung der Hölzer ist von den begleitenden Farben abhängig, sodass zwischen weißlichen, gelblichen, rötlichen, hellbraunen, rötlich-braunen, bräunlichen, grünlichen und schwärzlichen Hölzern unterschieden wird (Wagenführ 1996). Beachtung soll in jeden Fall auch dem Einfluss durch UV Belastung und der generellen Alterung von Holz und Beschichtung entgegen gebracht werden. Untersuchungen an Holzproben verschiedener Arten zeigten in einer 10 Monate dauernden Exponierung eine visuell deutlich sichtbare Farbänderung (Schöftner 1989). Veränderungen der Farbe können auch im Zuge der künstlichen Trocknung entstehen oder bewusst durch Adaptierung des Trocknungsprogramms herbeigeführt werden. Thermische Modifikation und Dämpfung des Rohmaterials wird ebenfalls zur mehr oder weniger starken Veränderung der Holzfarbe genutzt.



Abbildung 21: sehr helle Lamelle



Abbildung 22: helle Lamelle



Abbildung 23: dunkle Lamelle



Abbildung 24: sehr dunkle Lamelle

Natürliche Farbdifferenzen zwischen einzelnen Lamellen sind in den Abbildung 21 - Abbildung 24 dargestellt. Diese Eichenlamellen stammen aus der laufenden Produktion einer Parkettfirma und nach optischen Gesichtspunkten, vor allem Farbunterschiede ausgewählt. Eine Mischung verschiedenster Lamellen ergibt eine unruhige Oberfläche. Fügt man jedoch ähnliche Lamellen gleicher Farbklasse zusammen, dann ergibt sich ein ausgeglichenes und ruhiges Erscheinungsbild.

Unterschiedliche Helligkeit bzw. Farbe (Definition nach dem Lab-Farbraum, siehe auch Abbildung 26) der Lamellen wirkt sehr stark durch den Kontrast. Die Nachbarschaft zweier Lamellen der gegenüber liegenden Grenzen einer Klasse ergibt einen unerwünscht starken Kontrast. Geplante starke Kontraste werden durch Zusammenfügen von Lamellen gegenüber liegender Klassen gebildet.

Bei entsprechender Aufnahme der Farb- und Helligkeitsdifferenzen durch opto-elektronische Messeinheiten können sehr feine Übergänge gestaltet werden. Ebenso besteht die Möglichkeit, Raumwirkungen zu erzielen und unbewusste Grenzen einzuziehen.

Die Farbe einer Holzart hängt von vielen Faktoren z.B. Wuchsgebiet, Provenienz, genetische Ausstattung ab. Weiters wird sie auch durch Trocknungsvorgänge beeinflusst. Abbildung 25 zeigt das Spektrum von 27 Lamellen der Holzart Eiche. Die Werte für das Diagramm stammen von den Farbmessungen an einem Projekt, das sich mit Holz Trocknung und Farbe beschäftigt. Eine ähnlich breite Streuung gibt es bei jeder anderen Holzart auch (siehe Beschreibungen in Wagenführ 1996). Die tatsächlichen Einheiten und die Verteilung der Farbklassen ist bei Einführung der neuen Kriterien den aktuellen Gegebenheiten anzupassen. Sinnvollerweise wird diese Datenerhebung gleich durch eine elektronische Sortieranlage vorgenommen.

Nach dem im Projekt entwickelten System erfolgt die Einteilung in drei Klassen als Minimalanforderung. Aus den Farbmesswerten nach dem Lab-Farbraum eines Referenzprojektes, das sich nur mit Farbgestaltung beschäftigt, ergibt sich die in Abbildung 25 gezeigte Verteilung. Diese wird in die oben beschriebenen Farbklassen eingeteilt. Die Klassen werden als hell, mittel und dunkel bezeichnet.

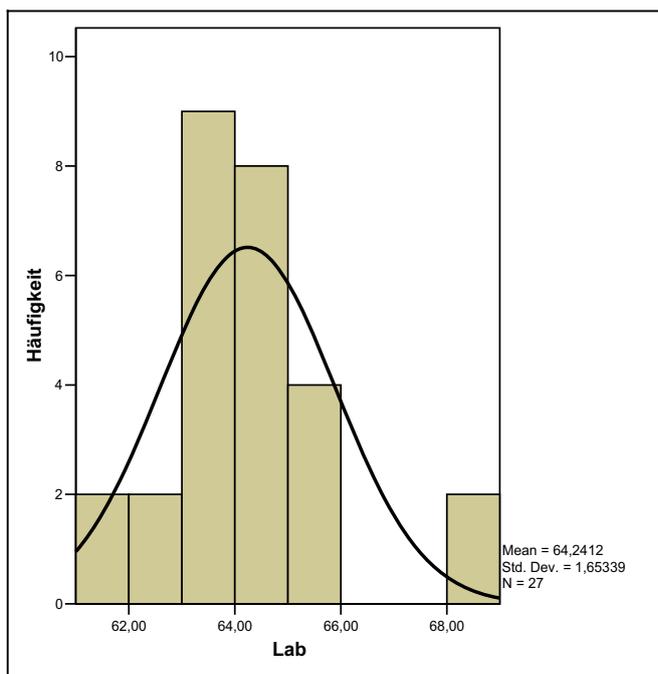


Abbildung 25: Häufigkeiten der Lab-Werte von Eichenlamellen (aus eigener Messung, unveröffentlicht) mit Beispielen gegenüberliegender Farbbereichen (eigene Darstellung)

Der CIELab-Farbraum ist ein von der Commission Internationale d'Eclairage (CIE) entwickeltes Farbmodell, das mehr als alle vom menschlichen Auge wahrnehmbaren Farben beinhaltet. Dabei wird jede Farbe durch drei Werte dargestellt. L^* beschreibt die Helligkeitskomponente (entspricht dem Grauwert), a^* und b^* geben den Rot-Grün bzw. den Gelb-Blau-Anteil an (<http://de.wikipedia.org/wiki/Lab-Farbraum>). Die Werte für L gehen von 0 (=schwarz) bis 100 (=weiß) sowie a und b von -127 bis +127 (<http://www.kunstwissen.de/fach/f-kuns/efarb01.htm>).

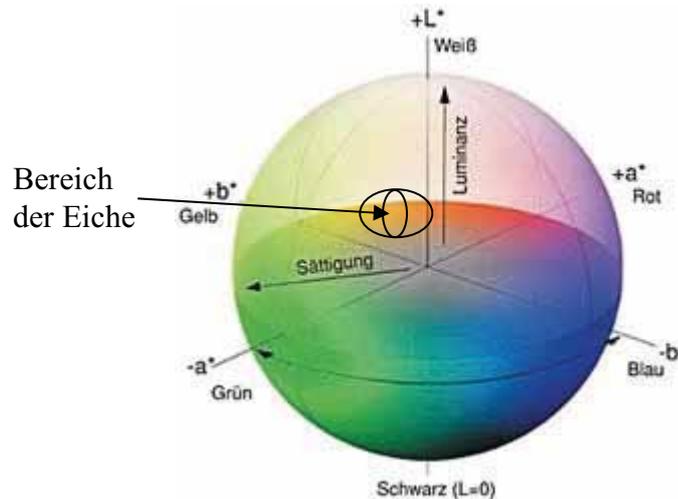


Abbildung 26: Darstellung des CIELab – Farbraumes
(http://www.haberbeck.de/upload/images/seiten/cie_lab002.jpg; 24. 3. 2006)

ad 3.: Wuchsmerkmale

- Äste
- Partielle Verfärbungen
- Spiegel

Ein wichtiges Element der Gestaltung sind Wuchsmerkmale. Je nach Holzart treten die einzelnen Merkmale unterschiedlich stark hervor. Daher kann eine Beschreibung der Merkmale entweder nur sehr allgemein sein oder durch die Festlegung auf eine Holzart detaillierter ausfallen. Mit Bezug auf die Fokussierung auf Eiche im vorliegenden Projekt, sind die folgenden Beschreibungen der Merkmale allein für europäische Eiche gültig.

Äste

Ein wichtiger Teil des Baumes sind seine Äste. Sie sind die Verbindung des Stammes mit den Zweigen und Blättern des Baumes, welche durch die Photosynthese betreiben. Nach der dreiteiligen Einteilung eines Baumes in Zopfstück, Mittelstück und Erdstammteil sind im obersten Teil Grünäste mit funktionierenden Blättern zu finden. Im Mittelstück sind nur noch Todäste vorhanden, welche die Blätter bereits abgeworfen haben, und im untersten Teil sind die Äste überwallt. Hinweise auf überwallte Äste sind zum Beispiel so genannte Chinesenbärte, welche bei bestimmten Holzarten, insbesondere Buche, auftreten. Bei anderen wiederum deuten nur noch Rindenunregelmäßigkeiten auf überwallte Äste hin (König 1957). In der Holzbearbeitung bereiten große Äste bzw. Astansätze Schwierigkeiten hinsichtlich Verzug, Bearbeitbarkeit, Aussehen u. v. m. Astansätze vermindern bestimmte technologische Eigenschaften beträchtlich. Äste in statisch kritischen Zonen können den vorhandenen Querschnitt schwächen, was bei Belastungsspitzen zum Versagen des Bauteiles führen kann. Das Erscheinungsbild wird unruhiger. Durch die Anisotropie des Holzes ergeben sich bei großen Ästen unterschiedliche Schwundmaße. Diese Differenzen können bei den zu

erwartenden Ausgleichsfeuchtedifferenzen zwischen Sommer und Winter ein Verziehen des Bodenbelages ergeben, und u. U. entstehen daraus etwaige Reklamationen. Abhilfe gegen diese Verwerfungen kann durch die Verleimung der Decklagen auf Trägermaterial (Hartfaserplatte, Sperrholz, spezielle Mittel- und Gegenzugschichten aus Nadelholz) geschaffen werden, da das differenzielle Schwinden damit größtenteils unterbunden wird. Andererseits sind bestimmte Spezialausprägungen der Äste besonders erwünscht. Als Beispiele seien der Vogelaugenahorn mit seinen vielen kleinen Klebeästen oder die Zirbe (*Pinus cembra*), deren heimelige Ausstrahlung durch große, rötlichbraune Äste entsteht, erwähnt.



Abbildung 27: Runde Äste: dunkler und gut verwachsen



Abbildung 28: Lamelle mit ovalem Ast



Abbildung 29: Lamelle mit Flügelast



Abbildung 30: schlichte Lamelle mit Kern und Splint



Abbildung 31: Lamelle mit fleckigen Verfärbungen

Die Merkmalsverteilung in den untersuchten Friesen stellt sich wie in Abbildung 32 abgebildet dar. Der Anteil der merkmalsfreien Friesen beträgt ca. 2/5 aller Lamellen, alle anderen verfügen über Äste oder partielle Verfärbungen, ca. 10% nennen beides ihr Eigen. Unberücksichtigt sind hier die, im Falle der Eiche jedoch ebenfalls als Merkmal zu betrachtenden, Spiegel. Wenige Holzarten verfügen über genügend hohe und breite Markstrahlen, dass sie im Radialschnitt derart stark zum Vorschein kommen, dass sie als eigenes Merkmal betrachtet werden müssen.

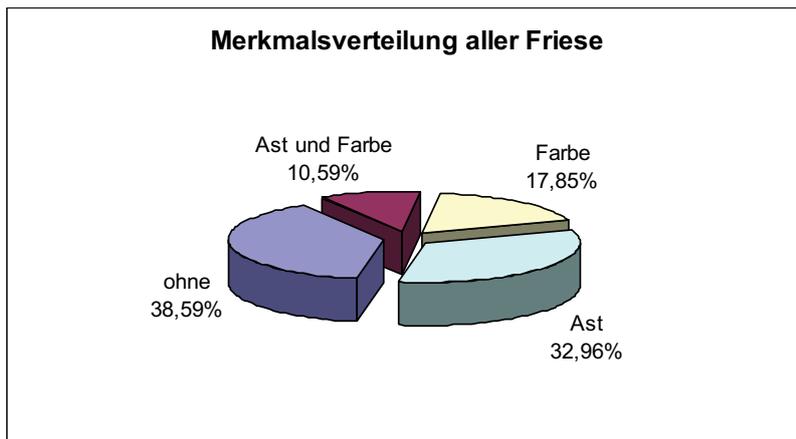


Abbildung 32: Merkmalsverteilung der aufgenommenen Frieze (Eiche)

2.3.2 Darstellung von Veränderungsmöglichkeiten in der naturgerechten Produktion von Holzprodukten (Parkett)

Nach Aufnahme des Produktionsablaufes und Überlegung einer ressourceneffizienten Produktionsweise stand fest, dass eine ressourceneffizientere Fertigung nur über eine Neudefinition des Rohmaterials erreicht werden kann. Die limitierenden Faktoren in der aktuellen Fertigungsweise sind die exquisiten Anforderungskriterien an die Rohstofflieferanten hinsichtlich der Rohfrieze.

In der direkten Parkettfertigung sind die Änderungen von den neuen Ansätzen abhängig. Die individuelle Diele erfordert eine neue Einteilung der Strukturen in eine höhere Anzahl an Klassen. Die Klassen sollen derart definiert sein, dass ähnlich wirkende zusammengefasst werden, um keinen unnötigen Aufwand zu betreiben. Diese Einteilung setzt die Neuprogrammierung der Sortieranlagen und die Einrichtung einer entsprechend höheren Anzahl an Sortierboxen voraus. Die Anzahl ist den Ausprägungen einer eigenen Klassendefinition anzupassen.

Um die Vielfalt der natürlichen Ressourcen auszunutzen, ist die Verwendung aller technologisch möglichen Stammteile anzustreben. Die vergleichsweise geringen Abmessungen ergeben die Möglichkeit, dass jede Lamelle durch mehrere Merkmalsausprägungen besonders definiert ist z. B. ein Ast am Ende der Lamelle, Ast in der Mitte, teilweise Verfärbungen, Splint-Kern Grenze entlang der Lamelle, Splintlamelle usw. Diese Lamellen können der Folge bei der Konfigurierung der Dielen gezielt eingesetzt werden. Geringe Durchmesser ergeben auffällige Änderungen in den Lamellen eines Frieses. Bei der Aufnahme der Frieze waren kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Lamellen eines Frieses feststellbar.

2.3.3 Erarbeiten von Kriterien und Grenzen für individuelle Muster (Parkett)

Um die Möglichkeiten der Gestaltungsvielfalt aufzeigen zu können, wurden 300 Lamellen mit verschiedensten Ausprägungen hergestellt (40% gestreifte, 30% gefladerte Textur sowie je 15% mit Ästen und Farbdifferenzen; sowohl innerhalb der Lamelle als auch die ganze Lamelle). Diese Lamellen bildeten die Grundlage, mit der die Probanden ein individuelles Bodenmuster gestalten konnten. Die nachfolgenden Bilder zeigen eine Auswahl der entstandenen Muster. Jede Testperson war in der Lage, mit den vorgegebenen Lamellen ihre Ideen zu verwirklichen. Die Beispiele zeigen erstens die verschiedenen Gestaltungsweisen und zweitens die Möglichkeiten des Designs mit rechteckigen Holzteilen, wenn diese akkurat sortiert sind.



Abbildung 33: Verschiedene Parkettmuster aus einheitlich vorgegebenen Lamellen

Aufgrund der Ergebnisse der Mustergenerierung sowie mehrerer Denk- und Lösungsansätze hat sich eine der Postponement – Strategie entsprechende Lösung gefunden. Ein Ansatz ist die Sortierung der Lamellen und Zusammensetzen der Decklagen mit Lamellen gleicher Ausprägung und Wirkung (Konzept 1). Der progressivere Ansatz ist die Klassifizierung aus unsortierten Lamellen zusammengesetzter Decklagen (Konzept 2). Hierbei ist noch zu untersuchen, wie sich die Größe der Decklagen bzw. die Anzahl der darauf befindlichen Lamellen auf die Klasseneinteilung auswirkt. Die aufwändigste Variante ist die Zusammensetzung der Dielen mit Lamellen ganz bestimmter Ausprägung (Konzept 3), insbesondere bei angestrebter durchlaufender Fertigung.

Betrachtet man nochmals die Ablaufstruktur des Prozesses der Parketherstellung, so bieten sich entlang der Wertschöpfungskette der Produktion mehrere Möglichkeiten der Einflussnahme der Kunden. Es existieren also mehrere mögliche Entkopplungspunkte, an denen anonymen Werkstücken eine Kunden-Identität zugeordnet wird. Um die mit diesen verschiedenen Entkopplungspunkten verbundenen kundenindividuellere Prozesse zu ermöglichen, bedarf es einer Neukonzeption der gesamten Wertschöpfungskette der Parkettboden-Herstellung.

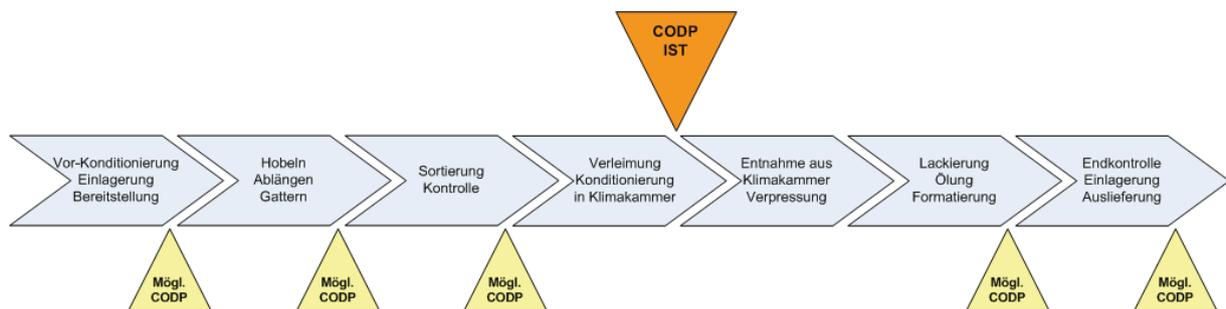


Abbildung 34: Mögliche und IST-Entkopplungspunkte

Miteinander verbundene Teile der Neukonzeption betreffen einerseits die Modularisierung der Struktur des Produkts „Parkettboden“, die Ermöglichung der Kundenmitsprache im Produktdesign durch einen Produktkonfigurator (ein Computerprogramm, das auf aktuelle Datenbanken zugreifen kann), aber auch eine Umstellung der produktionstechnischen und informationstechnologischen Prozesse des Unternehmens, um Abläufe glatter und kundenindividueller zu gestalten.

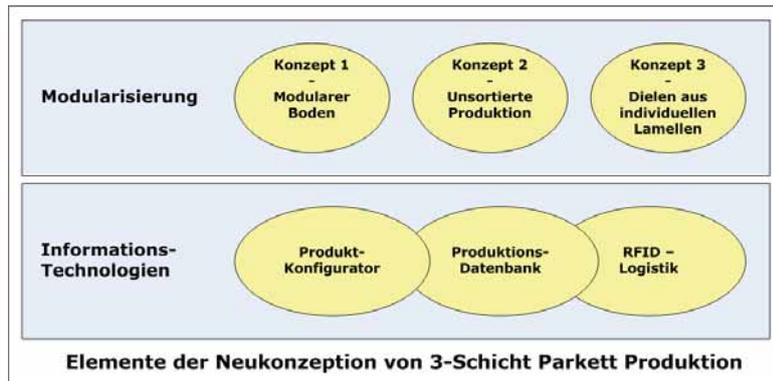


Abbildung 35: Neukonzeption - Übersicht

Konzept 1: Modularisierte Diele – M_Diele

Die Modularisierung des Produkts Parkettboden ist eine der Grundvoraussetzungen, um die Produktion kundenindividueller gestalten zu können. Die vorhandene Hierarchie innerhalb der Produktstruktur der Lamellen einer Holzart und Sortierqualität, dann der Deckschicht und Dielen dieser Holzart und Qualität bis zum fertigen Produkt Dreischichtparkettboden bedarf zu diesem Zweck einer Neudefinition. Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Möglichkeiten und Ebenen der Produktmodularisierung als Voraussetzung für ein verändertes Produktionssystem erarbeitet, die im Folgenden skizziert werden. Diese Konzepte der Produktmodularisierung basieren auf der Einführung eines Zwischenschrittes so genannter M_Dielen (Modul-Dielen). In einer Parkettproduktion der Zukunft können also kundenindividuelle Module, bzw. Module aus mit verschiedensten Ausprägungen versehenen Lamellen erzeugt werden, anstatt, wie bisher, in der Ästhetik unterschiedliche und auch monetär divers bewertete Qualitäten einzelner Parkettdielen. M_Dielen können aus demselben vorhandenen Rohmaterial auf die verschiedensten Weisen erzeugt werden. Sie können einerseits zu einer besseren Ausnutzung vorhandener Ressourcen beitragen, andererseits auch dem Kunden ermöglichen, durch gezielte Platzierung einzelner M_Dielen innerhalb seiner gewünschten Verlegefläche, Eindrücke zu erzeugen, welche mit herkömmlichen Produkten nicht erzielt werden können. Hintergrund der Einführung des Konzepts der M-Diele waren folgende, im Rahmen von internen Diskussionsrunden erarbeitete, Überlegungen:

- Einzelne Lamellen machen weder den Gesamteindruck einer Diele noch den eines Bodens aus.
- Die Steuerung und Platzierung singulärer Lamellen auf einer Diele ermöglicht NICHT die Steuerung des Merkmalsbildes einer Diele und somit auch nicht des Produkts Parkettboden.
- Neue Produktionskonzepte basierend auf kundenindividueller Massenfertigung von Dreischichtparkettböden sollten nicht Einzelfertigung zum Ziel haben, sondern das Anbieten möglichst je Kunden einzigartiger Produkte (also Parkettböden) unter Ausnutzung der Vorteile größtmöglicher Standardisierung durch Modularisierung während der Produktion.

Wie bereits erwähnt, erfolgt in den bewährten Produktionsprozessen eine Sortierung der Lamellen (und damit auch der fertigen Dielen) in mehrere verschiedene Qualitäten. Ein neues Konzept ist eine Sortierung und Produktion verschiedener Module der Dielen, also der M_Dielen in den für unseren Fall angenommenen Ausprägungen (A, B, C, D) die sich aufgrund verschiedener Strukturen unterscheiden, aber nicht mehr verschiedene Qualitäten darstellen. Auch die Sonderfertigung einzelner Module ist möglich (es könnten Decks extra

produziert werden, welche eine Anhäufung eines Merkmals, also beispielsweise lauter Äste, aufweisen). Basis jeder M-Diele sind selbstverständlich weiter die, aus den Rohfiesen ausgeformten Lamellen, welche zu M_Dielen zusammengesetzt werden. Eine kundenindividuelle Kombination einzelner M_Dielen und eine dementsprechende Verlegung ergibt dadurch das jeweils einzigartige Produkt eines Kundenindividuellen Parkettbodens. Abbildung 36 zeigt ein Beispiel für einen solchen aus M_Dielen zusammengesetzten Boden.

A	A	A	A	A	A
B	B	B	B	B	B
A	B	B	B	B	A
B	C	C	C	C	B
A	C	C	C	C	A
B	C	C	C	C	B
A	C	C	C	C	A
B	C	C	C	C	B
A	B	B	B	B	A
B	B	B	B	B	B
A	A	A	A	A	A

Abbildung 36: Mögliches Beispiel eines Bodens aus M_Dielen (eigene Darstellung)

Produktionslogistisch betrachtet können und sollen Kunden in diesem neuem Produktionsmodell, durch einen Konfigurator unterstützt, Aufträge über verschiedene M_Dielen vergeben. Damit ordern sie auf Fertigproduktebene, im Gegensatz zu bisherigen Prozessen, Qualitäten- und Holzarten-übergreifend. Der Entkopplungspunkt der Produktion kann bis zum Verpackungsprozess bzw. Fertigwarenlager verschoben werden. Dort erfolgt die Zuordnung einzelner produzierter Module zu einem Kundenauftrag. Die gesamten Upstream- Produktionsprozesse (also jene vor der eindeutigen Zuweisung des produzierten Gutes zu einem Kundenauftrag) werden auftragsanonym massenproduziert.

Konzept 2: Unsortierte Produktion

Eine Erweiterung des vorher beschriebenen Zugangs mit „radikalerem“ Ansatz stellt dieses Produktionskonzept dar. Es geht davon aus, dass der teure, weil Personalkosten- bzw. investitionsintensive Schritt der Lamellensortierung in einzelne Qualitäten aufgelassen wird und die Lamellen innerhalb der Beschränkung der gleichen Holzart ohne Rücksicht auf ihre optische Beschaffenheit zu Deckschichten verleimt werden.

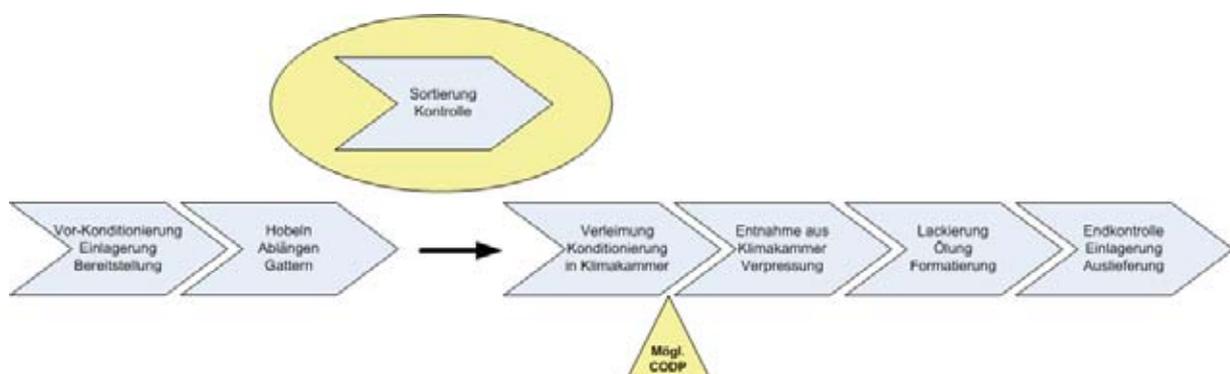


Abbildung 37: Konzept Unsortierte Produktion (eigene Darstellung)

Diese solcherart erzeugten, in der Verteilung der Holzstrukturen „gemischten“, Deckschichten müssten voneinander differenzierte Gesamteindrücke aufweisen, sodass wiederum von verschiedenen erzeugten M_Dielen als Ausgangsbasis für Kundenbestellungen ausgegangen werden kann. Je nach Zusammensetzung des sich entwickelnden Verlegebilds der Decks übernimmt ein Sortieralgorithmus die „Beschlagwortung“ des erzeugten Decks während des Vorgangs der Zusammensetzung. Dieses Konzept ist, wie noch zu zeigen sein wird, mithilfe der Methode der Simulation ausgezeichnet darstellbar, ein Test in der Praxis wäre aus Kostengründen definitiv undurchführbar. Die Variantenbildungsmöglichkeiten trotz Auflassens eines heute als essentiell erachteten Produktionsschritts sind aber numerisch quantifizierbar und die Auswirkungen auf den Produktionsprozess darstellbar.

Konzept 3: Dielen aus individuellen Lamellen

Wie bereits beschrieben, ist die Deckschicht der Diele der sichtbare Teil des Fertigparketts, durch die sich Dielen von einander unterscheiden; der gesamte Unterbau ist standardisierte Massenware. Deckschichten werden aus Lamellen der gleichen Holzart und derzeit definierten Qualitätskriterien zusammengesetzt. Durch den Produktionsablauf der Verleimungsprozesse der Lamellen zu Deckschichten wäre die Möglichkeit gegeben, hierfür verschiedene Oberflächenstrukturen miteinander auf einer einzelnen Diele zu kombinieren. Die Maschinenanordnung der Verleimpresse mit ihren Feeder-Boxen können theoretisch eine Mischung von Lamellen verschiedenster Ausprägungen auf ein und demselben Deck und sogar eine Zuordnung zu einer Lokalisierung auf dem Deck gemäß Kundenspezifikationen ermöglichen.

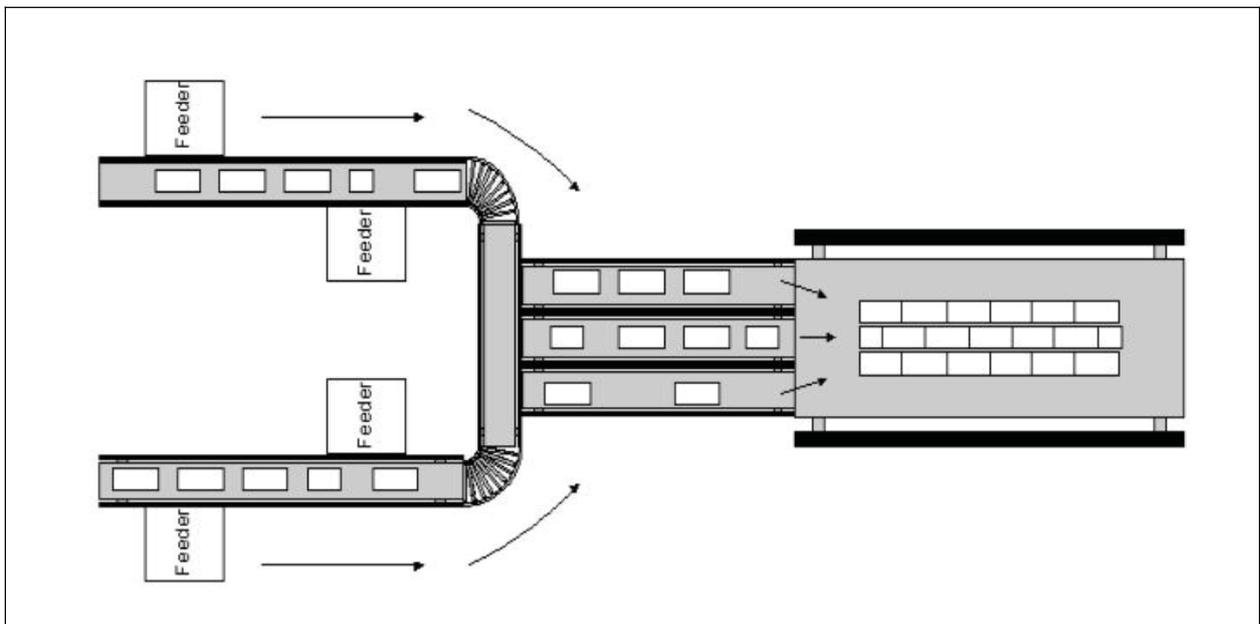


Abbildung 38: Materialfluss der Deckschichtzusammenführung von Lamellen (Quelle: eigene Darstellung)

Holzattribute könnten somit gezielt und bewusst platziert werden, die Betrachtung der optischen Holzstrukturen als Ausdruck der Individualität und als Gestaltungsmedien statt als Fehler ist dadurch denkbar. Die Möglichkeit, den Gesamteindruck des Verlegebilds zu steuern, kann nur durch diese genaue Charakterisierung dem Kunden angeboten werden. Der Produktionszyklus ist durch eine, wiederum durch einen Produktkonfigurator vorher ermittelte, Stückliste gesteuert. Die Anzahl der Stücke jeder Kategorie hängt direkt mit dem Auftrag zusammen.

Voraussetzung für dieses Konzept ist eine viel genauere Sortierung als dies heute praktiziert wird. Die Aufteilung nach den Holzstrukturen stellt mit den bereits entwickelten optoelektronischen Anlagen kein Problem dar. Aufmerksamkeit verdient die Zusammenfassung und Straffung der Anzahl der Klassen. Eine gründliche Überlegung der möglichen Attribute und Attributwerte ergab bei der Holzart Eiche eine Anzahl von dreißig unterschiedlichen Klassen.

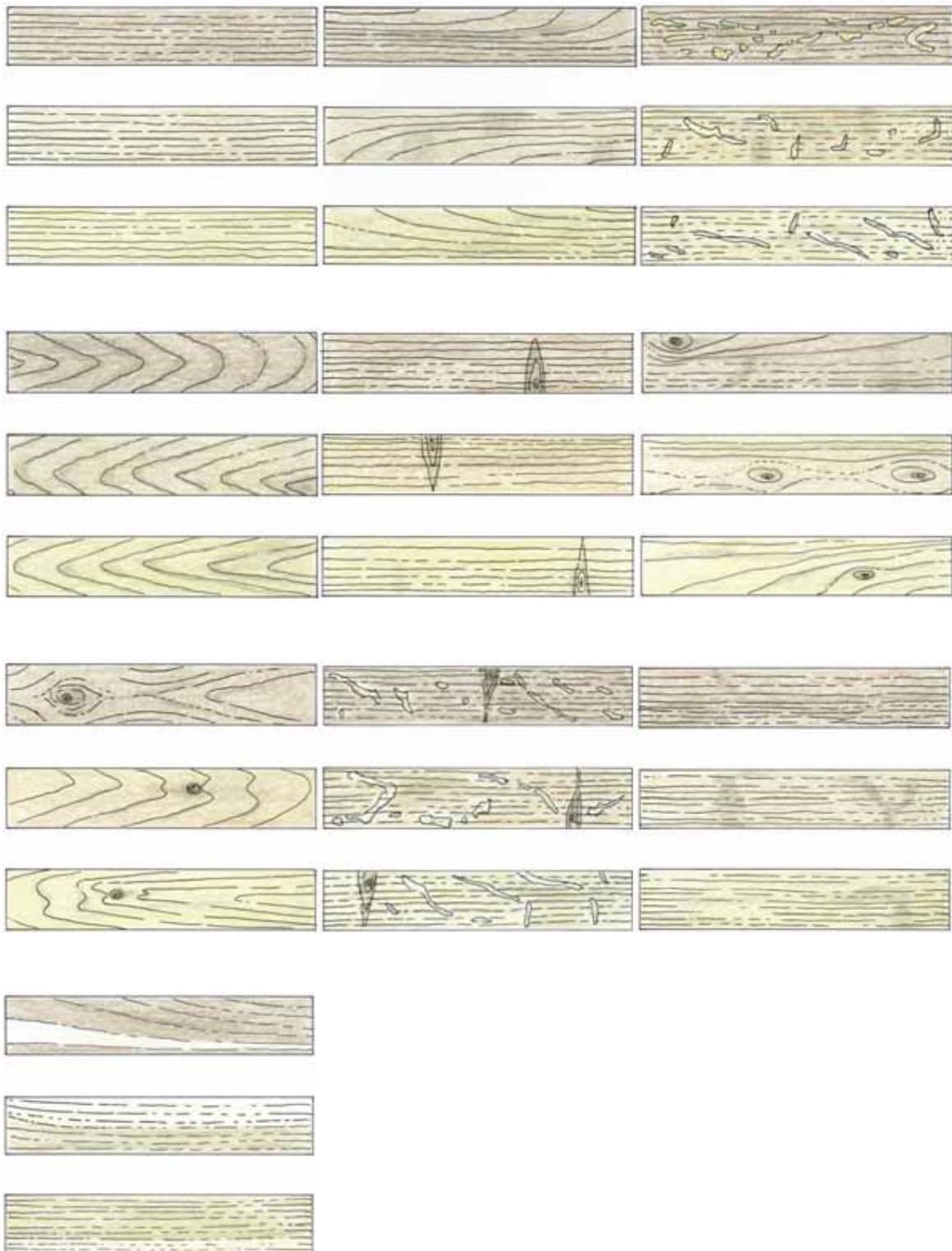


Abbildung 39: schematische Darstellung der 30 Klassen

Diese Abbildungen zeigen diese 30 Lamellen mit verschiedenen Ausprägungen der optischen Holzstrukturen der Holzart Eiche. Jedes Merkmal wird in drei Textur- und drei Farbklassen eingeteilt. Die Darstellungen enthalten die Merkmale Äste, partielle Verfärbungen, Spiegel und Kombinationen davon. Diese bilden die Vorlage für die Gestaltung von flächigen und raumbezogenen Gestaltungsvorschlägen. Spezielles Augenmerk wird auf die optischen Auffälligkeiten der verschiedenen Merkmale gelegt.

Kombinationen der Sortierklassen

Die Gestaltungsvarianten mit verschiedenen Ausprägungen sind sehr vielfältig. Die optische Wirkung einer einzigen Lamelle in der Bodenfläche mit vielen verschiedenen Lamellen kann relativ gering sein. Die Verlegung vieler gleicher Lamellen ergibt allerdings eine auffällige Wirkung. Ähnlich verhält es sich mit der Kombination verschiedener Lamellen. Allerdings ist darauf zu achten, dass nicht ungeplante Kontraste durch eine einzige stark wirkende Lamelle erzeugt werden, da dadurch die geplante Wirkung verloren geht. Folgende Abbildungen zeigen eine Auswahl von Gestaltungen. Die Pfeile zeigen die gewünschte Wirkungsweise.

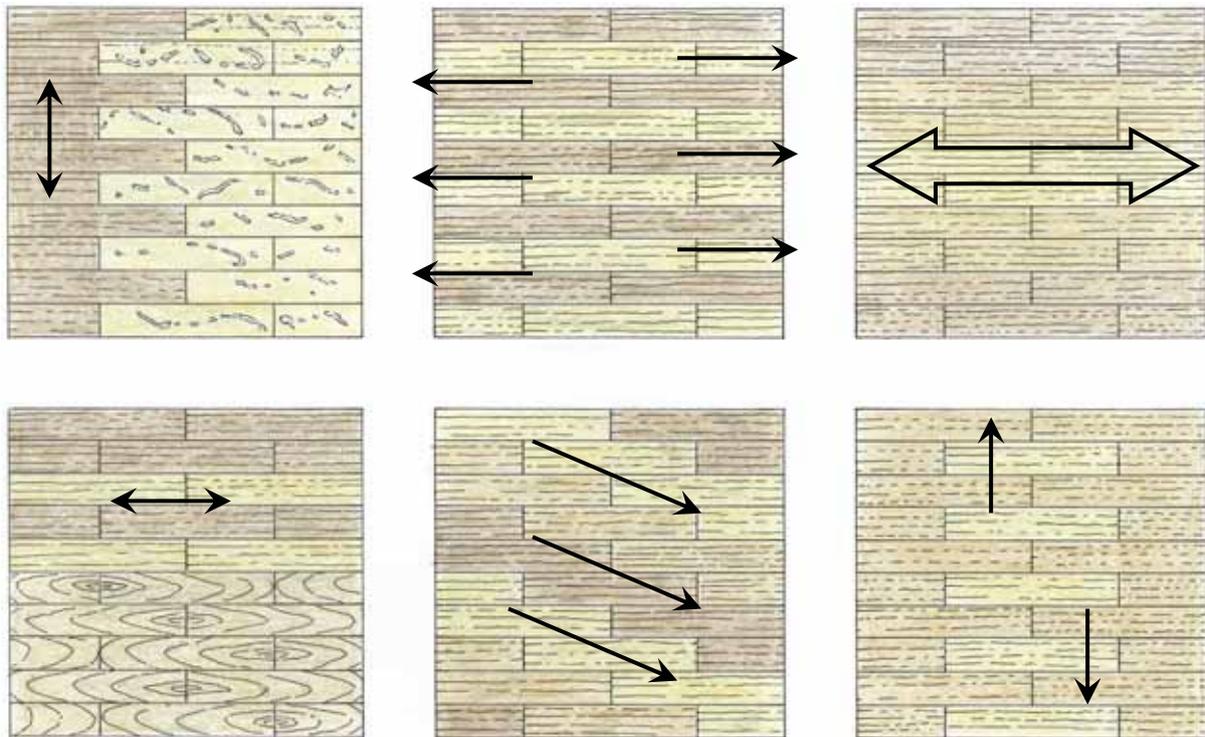


Abbildung 40: Gestaltungsvarianten mit optisch indirekt wirkenden Richtungsweisern

Die oben angeführten Abbildungen zeigen Gestaltungsvarianten mit verschiedenen Lamellenausprägungen. Die einzelnen Kombinationen von hellen und dunklen, schlichten und aufregenden Strukturen bewirken intuitive Leitung des Benutzers (die vier Beispiele auf der rechten Seite). Auch ganz triviale Gestaltung wie eine Bordüre zum Beispiel lässt sich dadurch bewerkstelligen (die Bilder der linken Seite). Die Gestaltung kommt in diesem Fall ganz ohne Merkmale aus, nur die Texturen und die unterschiedliche Farbe dienen als Gestaltungsmittel (Ausnahme die Bordüre links oben, da ist die Fläche mit hellen gestreiften Lamellen inklusive Spiegel gelegt).

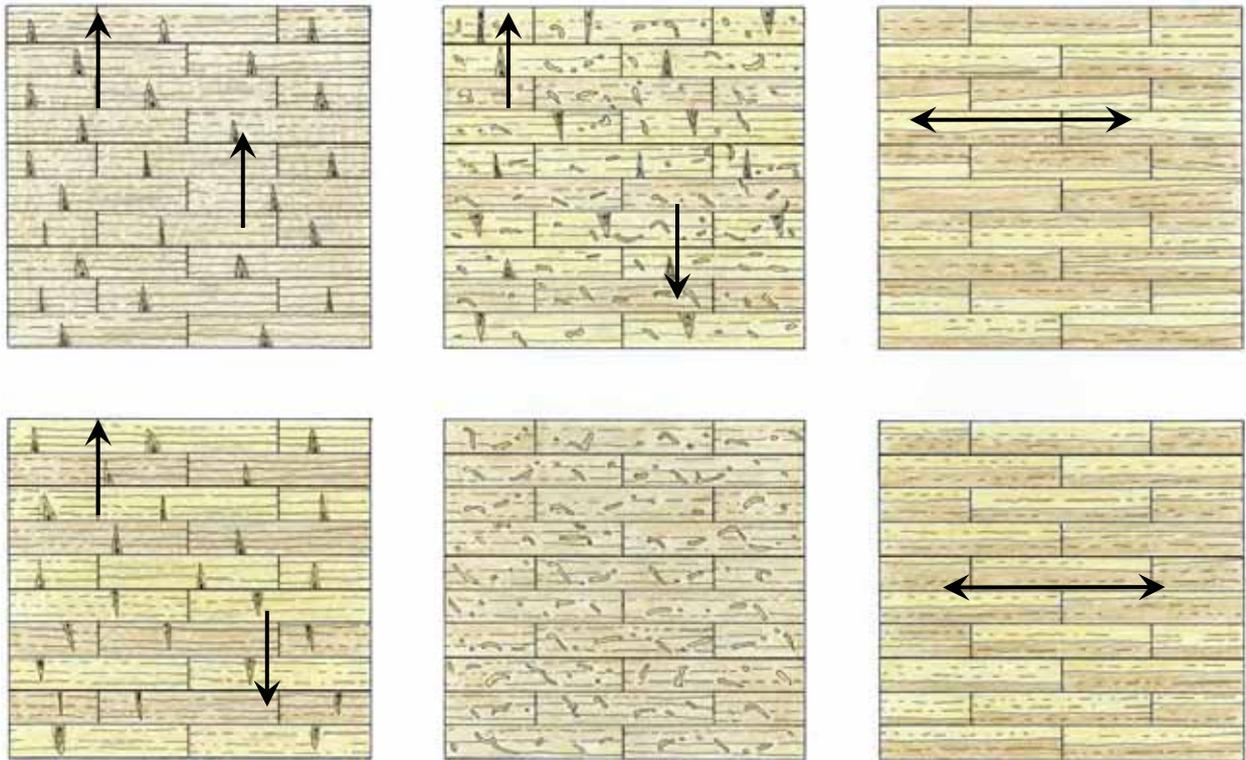


Abbildung 41: intuitive Wegweisung mittels Flügelästen und Splint-Kern Lamellen

Diese Flächen sind mit sehr wirkungsvollen Lamellen gestaltet. Die Kombination von Merkmalen und Farben ergibt andere Wirkungen als in den ersten sechs Bildern in Abbildung 40. Durch die Verwendung von Flügelästen wird eine bestimmte Richtung gewiesen, welche durch die Pfeile angezeigt ist. Die Abbildung in der Mitte oben vermittelt einen unruhigen Eindruck. Durch die Verwendung von verschiedenen Farben, Flügelästen und Spiegel wird der Betrachter stark gefordert. Lässt man hingegen die unterschiedliche Farben der Lamellen und die Äste weg, verwendet nur die gestreifte Struktur mit Spiegel erhält man einen in sich ruhenden und unaufdringlichen Boden.

Auch die Verwendung der Kombination von Kern- und Splintholz, ob jetzt symmetrisch oder asymmetrisch eher von Nebensache ist, ergibt einen ruhigen Boden, allerdings mit Richtungswirkung.

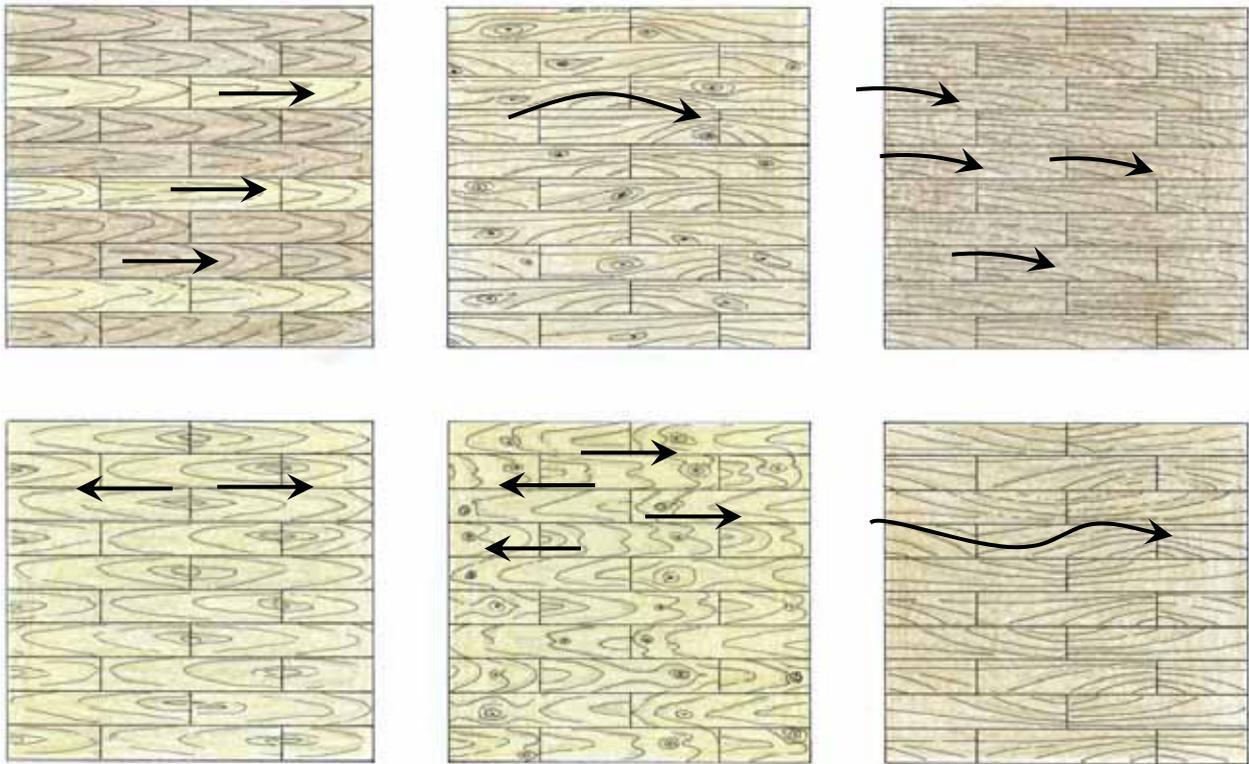


Abbildung 42: Richtungsweiser mittels Holztexturen

Ganz interessante Möglichkeiten der Bodengestaltung und der intuitiven Richtungsweisung ergeben sich durch Verwendung von Lamellen mit halbem Flader (Bilder ganz rechts). Einzelne Lamellen mit Flader bewirken eine Richtungsweisung. Viele derartige Ausprägungen ergeben eine starke Weisung in eine Richtung. Verwendet man diese aber gestürzt (offene Seite zusammen bzw. Spitzen zueinander) dann ruht der Boden wieder in sich. Die Kombination von Rundästen und einhergehenden unregelmäßigen Fladerung (Zeichnung Mitte unten) ergibt einen lebendigen und eventuell auch unruhigen Boden.

Platzgestaltung

Jeder Wohn- bzw. Aufenthaltsraum braucht für eine gewisse Raumruhe einen in sich ruhenden Bereich. Auch hier können verschiedenste Strukturkombinationen Anwendung finden. In sich harmonisch geschlossenen Lamellen finden genauso Verwendung als erst in Kombination Ruhe verströmende Lamellen.

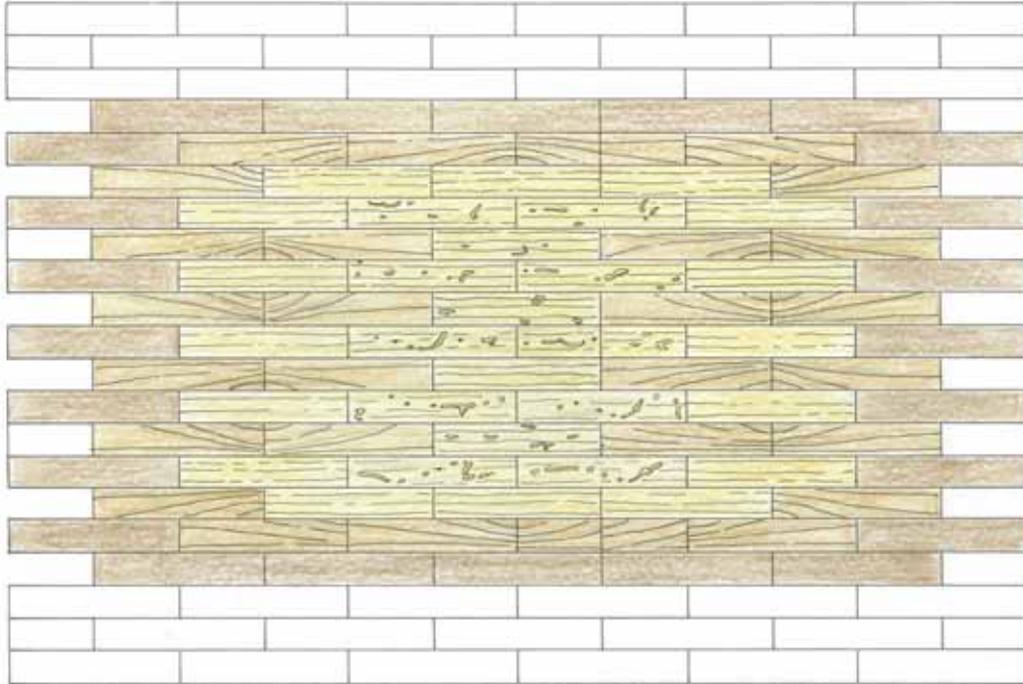


Abbildung 43: Platzgestaltung durch Konzentration gleicher Lamellen

Die vielen Möglichkeiten der bewussten Gestaltung eröffnen dem Verbraucher genau die nötigen Frei- und Spielräume, welche eine Manufaktur bieten soll. Die unabhängige Vorsortierung der einzelnen Ausprägungen gewährleistet eine effizientere und kostengünstigere Fertigung als die der reinen Handwerkskunst. Die komplexere Fertigung, insbesondere die genaue Legung von Lamellen in einer Bodenfläche entsprechen keiner Mass Customization hinsichtlich der aktuellen Dreischichtparkettfertigung. Den Ansätzen einer ressourceneffizienten Fertigung und den Ideen der „Industriellen Manufaktur“ entsprechen sie sehr wohl, auch wenn gewisse Einbußen hinsichtlich der Lieferzeit oder Postponement Strategien hingenommen werden müssen. Die oben angeführten Bilder versprechen eine durchaus wirkungsvolle Bodengestaltung mithilfe der „Individuellen Diele“.

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass die ersten beiden Konzepte die Möglichkeit der Umsetzung von Mass Customization in der Parkettindustrie mithilfe von Postponement-Konzepten, also dem Verschieben des Punktes der Produktindividualisierung, ausloten, während Konzept 3 eher das Vorziehen des CODP im Produktionsprozess als adäquates Mittel zur Erreichung von höherer Kundenindividualität der Produktion erachten. Im Rahmen des Projektes wurde die Weiterverfolgung des ersten Ansatzes „M_Diele“ beschlossen. Der zweite Ansatz der „Unsortierten Dielen“ wurde mithilfe der Methode der Simulation getestet und seine Möglichkeiten ausgelotet. Der dritte Ansatz der individuellen Dielen wurde nicht vorrangig im Projekt weiterverfolgt.

2.3.4 Aufzeigen von Rahmenbedingungen für die Einflussnahme der Kunden auf die Parkettfabrikation

Produktkonfiguratoren sind maßgebliche Unterstützungsinstrumente in der Implementierung und Umsetzung von Konzepten der kundenindividuellen Massenfertigung. Unter Produktkonfiguratoren versteht man intelligente Softwaretools, welche es dem Produktdesigner, bzw. im Sinne des Mass Customization Konzepts, dem Kunden ermöglichen, mithilfe einer vorgegebenen Eingabemaske und vorgegebener Produktstrukturen, sowie der dahinter liegenden Kombinationslogik, einzelne Module zum gewünschten Produkt zusammenzusetzen.

Modularität der Produkte, die durch verschiedene Merkmale beschrieben werden können, ist, wie bereits oben dargestellt, die wichtigste Voraussetzung, um kundenindividuelle Bestell- und Konfigurationsvorgänge zu ermöglichen. Einzelne Produkt-Module lassen sich oft nicht einfach über Bestellnummern verwalten. Weiters schließen sich auch Kombinationen von Merkmalen oft aus. So darf ein guter Produktkonfigurator es nicht ermöglichen, ein Cabrio ohne offenes Autodach, einen PC ohne Prozessor oder einen Tisch ohne Beine zu bestellen. Die für diese Kombinationen und Exklusionen verwendete Produktlogik fordert den Benutzer auf Angaben zu machen und sein gewünschtes Produkt zu beschreiben, lässt dabei aber nur vorher definierte Konfigurationen zu. Manche Dienstleistungen oder Produkte werden erst nach einer technischen Auslegung angeboten (z.B. Roboter). Diese Auslegungslogik gehorcht ebenfalls festen Regeln, bei denen Konfiguratoren für diese Produkte während des Konfigurationsvorganges Berechnungen ausführen müssen.

Die Branche, die Kunden erstmals selbstständig und web-basiert das Designen ihrer gewünschten Produkte mittels Produktkonfiguratoren ermöglichte, war die Automobilindustrie. In der Computerindustrie sind Hardwareerzeuger oder –verkäufer wie beispielsweise Dell auf diese Softwaretools als grundlegenden Bestandteil ihres Verkaufssystems angewiesen. In der Textilbranche wird Maßkonfektion über Konfiguratoren verkauft. Produktkonfiguratoren sind auch in der Möbelindustrie schon länger bekannt. Von Produzentenseite wurden sie schon seit dem Ende der 1980er eingesetzt, um mittels Planungsprogramm kundenindividuelle Maßmöbel vorab darzustellen und Produktionsaufträge daraus zu generieren.

2.3.5 Erarbeitung eines Kriterienkatalogs für die Einbeziehung von Kundenwünschen in konfigurierbare Endprodukte

Jede Variante ermöglicht eine eigene Vorgehensweise bei der Produktwahl. Diese variieren von der Strukturauswahl der Lamellen für einzelne Bereiche bis zur Entscheidung, welche Dielenkategorie gelegt wird. Im Fall des vorgefertigten Bodens kann der Kunde nur noch sein Bodenbild wählen. Für eine kundenfreundliche Beratung und Auswahl der Eigenschaften ist aber in jedem Fall die Unterstützung eines elektronischen Programms inklusive eines fachkundigen Beraters notwendig.

Für eine software-unterstützte Planung des Bodens sind uns zwei Produkte bekannt: tiloVCAD[®] und ESIGN[®]

Die Software tiloVCAD, des Naturbodenherstellers tilo GmbH aus Oberösterreich beherrscht bereits die meisten aller für die Einführung neuer Konzepte kundenindividueller Massenproduktion in der Parkettindustrie notwendigen Funktionen. Dieses EDV-Programm kann jeder (potentielle) Endverbraucher von der Website der Erzeugerfirma einfach herunterladen und ist einfach zu installieren. Die Bedienungsoberflächen sind nach einer kurzen Eingewöhnungsphase intuitiv zugänglich und auch die Fülle an möglichen Funktionen wird rasch vom Benutzer erfasst und kann auch spielerisch ausprobiert werden. Darüber hinaus

bietet tiloVCAD[®] eine Möglichkeit der selbständigen Erweiterung und Programmierung der Software mittels einfacher ASCII-Files.

tiloVCAD ist eine Software zur Erstellung von Verlegeplanungen, einsetzbar sowohl für die Planung von Böden als auch Decken oder Wandverkleidungen. tiloVCAD basiert auf Windows und ist, allgemeine PC-Kenntnisse vorausgesetzt, leicht erlernbar. Weiters bietet eine planungsbegleitende Online-Hilfe Führung durch das Programm. Wiederum kann vom Kunden auf einer Zeichenfläche der individuelle Raum gezeichnet werden und in diesem Paneele oder Fußböden verlegt bzw. Module platziert werden. Schrägen, Aussparungen und Hinterschneidungen sind möglich, jede Fläche kann verschoben, gedreht und kopiert werden. Zusätzlich können Flächen verschmolzen und voneinander ausgestanzt werden, um komplexe Verlegeflächen zu erzeugen. Produkte und Module, die verlegt werden können, sind mit einer Holzstruktur versehen, die sich optisch je nach gewünschter Holzart, Produktart und Sortierklasse auch unterscheidet. Der Benutzer ist frei in der Definition der Länge, Breite und Produktart. Eine möglichst realitätsnahe Darstellung des gewählten Bodens ist durch Fotos firmeneigener Holz- und Sortierqualitäten gegeben.

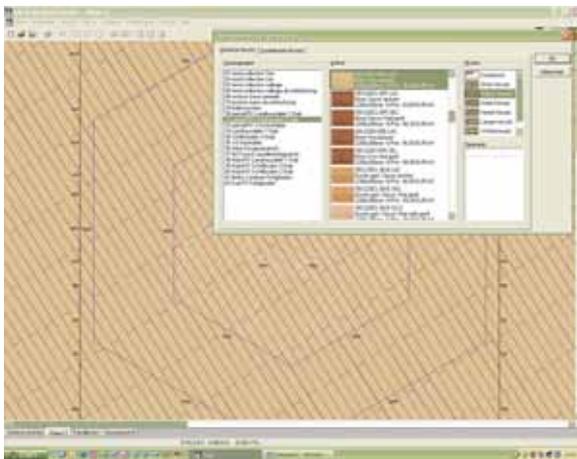


Abbildung 44: Dielenverlegung in tiloVCAD (www.tilovcad.com)

Paneele oder Fußbodenelement sind als rechteckige Objekte dargestellt, die einzeln, im Verband oder als vordefiniertes Muster verlegt werden können. Die zulässigen Verlegearten reichen von einfachem Versatz bis zu Fischgrätmustern. Module sind Objekte verschiedenster Form ohne Einschränkungen, die frei platziert werden können. Es können beliebig viele verschiedene Artikel in mehreren Verlegeflächen platziert werden.

Im Tool wird mit einfachem Maus-Doppelklick auf die gewünschten Kanten der Bodenfläche ein Produkt verlegt. Jede Verlegung kann nachträglich verschoben und gedreht werden. Eine Summenfunktion bei Design mehrerer Holzböden ist auch eine intelligente Besonderheit des Programms: wenn mehrere Flächen mit demselben Produkt verlegt werden, können dazu während einer tiloVCAD Sitzung mehrere Fenster mit zu belegenden Böden erstellt werden, um anfallenden Verschnitt in anderen Flächen weiterzuverwenden. Der Gesamtbedarf aller Verlegeflächen zusammen wird auf Knopfdruck automatisch ermittelt.

tiloVCAD bietet neben dieser automatischen Berechnung des Bedarfs an Produkten auch eine automatische Erstellung eines Angebots und einer Stückliste. Der Bedarf an Einzelstücken wird extra ausgewiesen, Positionen aus dem Artikelstamm oder individuelle Positionen können auch noch hinzugefügt werden. Interessant für gewerbliche Verwender von tiloVCAD, also Fachberater und Zwischenhändler, ist die Funktion, Kopf und Fußzeile individuell zu gestalten. Weiters kann ein eingescanntes Firmenlogo als

Zeichnungshintergrund eingebunden werden. Die Möglichkeit des maßstabgetreuen Ausdrucks auf jedem beliebigen Drucker rundet die Möglichkeiten des Tools ab.

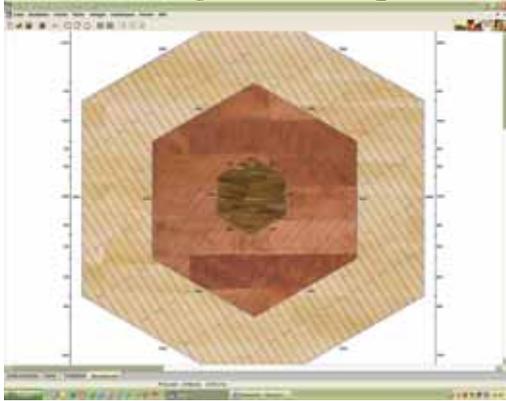


Abbildung 45: Beispiel eines individuellen Bodens in tiloVCAD

ESIGN[®] ist als Software Lösung eines deutschen Anbieters genau auf die Anforderungen der Bodenbelagsbranche zugeschnitten. Es bietet dem potentiellen Kunden die Möglichkeit (auch über webbasierte Zugänge) der Planung eines individuellen Bodens und Vergleich der möglichen Varianten. Im Hintergrund der jeweiligen Internetseiten liegen Datenbanken der Bodenproduzenten.

Die Böden werden in diesem Programm nicht separiert von der Umgebung dargestellt, sondern direkt in den Raum eingeplant. Somit kann an Ort und Stelle eine profunde Innenraumberatung durch geschulte Arbeitskräfte gemacht werden. Weiters wird die gesamte Raumsituation und Raumwirkung dargestellt, was der Kundschaft die Planung des Raumes wesentlich erleichtert.

2.3.6 Identifizieren von Entkopplungspunkten: Standardprozess vs. Kundenindividueller Prozess

Die Wertschöpfung des Produkts wird sehr früh im Produktionsprozess durch die Qualitätssortierung bestimmt, gleich im Anschluss erfolgt die Fertigung der Parkett-Deckschicht, also des dem Kunden sichtbaren Teils der Diele.

Diese Deckschicht stellt im Produktionsprozess den so genannten *Point of Product Differentiation (PPD)* dar, also den Punkt, an dem die Unterscheidung (im optischen Eindruck) der einzelnen Dielen stattfindet. Dieser Punkt stellt im Produktionsprozess **nicht** den *Entkopplungspunkt (CODP)* dar; die ersten Schritte der Produktion sind auftragsanonym, die Zuordnung der einzelnen Decklagen zu einem Kundenauftrag erfolgt erst nach der Klimakammer bei der Verpressung mit der Mittelschicht. Dieser dadurch entstehende Trade-off zwischen dem *CODP* (Verpressung) und dem *PPD* (Sortierung und Deckschichtzusammenführung) stellt eine der Herausforderungen bei der Umsetzung von MC-Konzepten in der Parkettindustrie dar. Mögliche Entkopplungspunkte werden in Abbildung 34 im Punkt 2.2.3 sehr anschaulich dargestellt.

2.4 *Arbeitspaket 3: Erarbeiten eines Simulationsmodells für ein neues Fertigungskonzept*

2.4.1 Neukonzeption einer Fertigungsorganisation

Der gewählte Lösungsansatz bestimmt den erforderlichen Aufwand der Neukonzeption. Der Ansatz „Unsortierte Diele“ verlangt eine Verschiebung der Sortierung an den Punkt, vor dem der Transport der fertigen Diele in das Lager erfolgt. Das Lager ist in Abteile mit den definierten Merkmalen eingeteilt.

„Typisierte Diele“ bedingt eine Sortierung bezogen auf die einzelnen Merkmale. Diese werden zu Klassen zusammengefasst und in der Decklagenverleimung klassenweise zusammengefügt. In diesem Fall wird der Ablauf so beibehalten, wie er jetzt besteht. Die Zusammenstellung der Pakete erfolgt nach der Planung und Kalkulation der benötigten Mengen.

Der dritte Ansatz ist am aufwändigsten zu realisieren. Für jedes Merkmal ist eine eigene Feeder-Box einzurichten, aus der nach Legeplan das entsprechende Merkmal entnommen werden kann. Durch EDV-Unterstützung wird der von der Kundschaft geplante Boden in Lamellengröße zerlegt und der Zuführanlage die entsprechenden Befehle gegeben. Eine anschließende Markierung der Decklage (Barcode, RFID Chip, ...) ermöglicht die genaue Zuordnung zu Auftrag und Platzierung am Boden.

2.4.2 Neukonzeption von Fertigungsanlagen

Auch dieser Punkt ist abhängig von der zukünftigen Produktionsweise. Bei den unsortierten Dielen ist die vorgesezte Sortierung obsolet. Wichtig ist die Sortierung und Dokumentation, bevor die Dielen ins Fertigwarenlager transportiert werden. Von Vorteil wäre eine fotografische Aufnahme, um die produzierten Dielen aus einer Datenbank abrufen zu können. Natürlich ist das entsprechende Foto beim Verkauf aus der Datenbank zu entfernen. Nachdem derzeit keine fließbandähnliche Verbindung zwischen Sortierstation und Decklagenzusammensetzung besteht, ist der zweite Ansatz ohne Veränderung der Maschinenanordnung durchzuführen. Lediglich die Einstellung der Sortieranlage ist den Vorgaben entsprechend zu adaptieren.

Die geplanten Decklagen zu produzieren ist zwar durch Anordnung gleich vieler Feeder-Boxen, wie Ausprägungen vorliegen relativ einfach, jedoch ist eine Optimierung zwischen der Anzahl an Klassen und Boxen durchzuführen (Merkmale und Texturattribute sind mit den Farbattributen zu multiplizieren).

2.4.3 Aufzeigen von Verknüpfungsmöglichkeiten mit neuen Informationstechnologien

RFID-Logistik der M_Dielen

RFID steht für Radio Frequency Identification und gilt als herausragende Innovation für die Logistik der Zukunft. RFID Chips, oder auch Transponder bzw. „Tags“ genannt, sind seit kurzer Zeit der Grund für revolutionäre Prozessverbesserungen und erhöhte Nachvollziehbarkeit von Abläufen und Materialflüssen. Es handelt sich um Datenträger, welche so klein und schmal gestaltet werden können, dass sie, nicht dicker als ein dünnes Blatt Papier, auf Produkte und Umschlagsbehelfe, wie Container, Paletten, Kartons etc. einfach aufgeklebt werden können. RFID Tags existieren in zwei Varianten: aktiven Chips mit eigener Energieversorgung und passiven Chips, welche über keine Energieversorgung verfügen und daher billiger in der Herstellung sind. Auf diesen Tags können alle möglichen Informationen über ein Produkt gespeichert sein; ähnlich wie beim Barcode-System erfolgt eine eindeutige Kennzeichnung jedes Produkts.

Im Rahmen des neuen Konzeptes können nicht einmal daumennagelgroße RFID Tags, welche auf einer selbstklebenden, wasserresistenten Spezialfolie angebracht sind, im Zuge des Verleimungsvorganges der Lamellen zu Deckschichten der M_Dielen auf der Unterseite dieser Deckschichten angebracht werden. Weiters werden selbstverständlich Datum und Uhrzeit bzw. alle weiteren vom Hersteller gewünschten Daten auf den Tag geschrieben. Da es sich um einen passiven Tag handelt, fallen Herstellungskosten für den Chip auch nicht ins Gewicht.

Die weitere Verarbeitung der nun eindeutig identifizierbaren Diele erfolgt kundenanonym bis zum Verpackungs- und Einlagerungsprozess. Beim Verpackungsprozess werden durch Auslesung der RFID Tags nur einander entsprechende Dielen verpackt und hernach chaotisch im Fertigwarenlager eingelagert. Der Standort und die Menge der eingelagerten Dielen sind selbstverständlich dadurch auch im Warenwirtschaftssystem hinterlegt.

Wenn der Kunde mithilfe des Parkett-Konfigurators und der hinterlegten Photos die nötigen M_Dielen für seinen individualisierten Boden zusammenstellt, hat er online Zugriff auf das vorhandene Fertigwarenlager an M_Dielen. Bei Bestellung übermittelt er Anzahl, Holzart und gewünschte M_Dielen Kategorie, welche einer bestimmten RFID - Klasse entsprechen, an das Unternehmen. Weiters wird sein Zusammenstellungsplan und der vom Kunden erstellte Verlegeplan codiert und ebenfalls mit der Bestellung übermittelt. Während das AS/RS (Automatic Storage /Retrieval System) die gewünschte Anzahl der jeweiligen M_Dielen aus dem Regallager entnimmt (hierbei kann es auf die Parameter Datum/Zeit auch zugreifen und somit garantieren, dass die am längsten vorgehaltene Ware der gewünschten Ausprägung entnommen wird), beschreibt das Entnahmesystem die RFID-Chips mit dem individuellen Verlegeplan, der mit der Bestellung übermittelt wurde. Dabei werden unterschiedliche Packungen unterschiedlicher M_Dielen auch unterschiedlich beschrieben, sodass hernach, bei der Endkommissionierung des Auftrags, nicht nur der individuelle Lieferschein den einzelnen Paketen beigelegt wird, sondern auch ein ausgedruckter Verlegeplan, der je nach M_Dielen Kategorie, der er zugeordnet ist, verschiedene Bereiche des zu verlegenden Bodens farblich kennzeichnet und somit hervorhebt, wo im Wohnzimmer des Konsumenten die jeweilige M_Diele verlegt werden muss, um damit den gewünschten Effekt nach Muster des Kunden zu erzielen.

Ebenso ist denkbar, dass der Kunde bei der Selbstverlegung des Bodens auch mithilfe seines Laptops oder PDA (Personal Digital Assistant) die RFID Tags ausliest und somit als Unterstützung am Bildschirm den Verlegeplan und den dazugehörigen Bereich der einzelnen Diele aufleuchten sieht, in dem diese verlegt gehört.

Wertschöpfungskette und Integration neuer IKT-Konzepte

Die Parkettproduktion der Zukunft ermöglicht durch die Modularität der Produkte, den Online-Produktkonfigurator und die Datenbank- bzw. RFID-Lösung mehrere und flexiblere Abläufe der Auftragsstellung und Abwicklung. Folgende Szenarien sind vorstellbar:

Der Kunde bestellt über Internet seinen individuellen Parkettboden beim Hersteller. Dieser liefert direkt, ohne Einschaltung eines Zwischenhändlers, die individuell benötigten Module, inklusive einer wie oben beschriebenen intelligenten Verlegeanleitung an den Endkunden. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass der Hersteller als Add-On Service auch die Bodenverlegung ins Produktportfolio aufnimmt und somit seine Wertschöpfungskette vertikal erweitert.

Eine andere Möglichkeit für den Kunden wäre weiterhin der Besuch in der Filiale eines Fachhändlers. Dort könnte entweder herkömmlich nach Mustermappen ausgesucht werden oder aber unter Anleitung des Fachhändlers ebenso online ein individueller Boden mittels des Parkett-Konfigurators designt werden. Diese Variante hat den Vorteil, dass der Kunde nicht in der Bedienung neuer Technologien versiert sein muss, um seinen individuellen Boden bestellen zu können. Auch der Nachteil des aufgezeigten Konzeptes, dass Technikangst oder Ungeübtheit im Umgang mit neuen Technologien ein Hindernis auf dem Weg zur Erfüllung eigener Bedürfnisse bilden könnte, wäre somit ausgeschaltet.

Ebenso könnte der Kunde in Baumärkten zu einem Terminal gehen und dort online den Produktkonfigurator bedienen und seine Bestellung aufgeben. Dies hätte den Vorteil, dass damit auch Kunden gewonnen werden können, welche keinen Internetzugang zu ihrer Verfügung haben.

Für jene Kunden, welche zwar technik-affin sind, aber doch keine Zeit oder Kreativität haben, ihren eigenen Boden völlig selbständig zusammenzusetzen, bietet sich die Möglichkeit mithilfe des Terminals im Baumarkt bzw. beim Fachhändler automatisch nach Angaben zu Raumgröße und Ausrichtung mehrere Vorschläge von an Ort und Stelle verfügbaren Mustern geliefert zu bekommen. Der Kunde trifft eine Auswahl aus verschiedenen, aus aktuell im Baumarkt lagernden Dielen generierten Muster und nimmt die entsprechende Ware inklusive einer exklusiv und individuell erstellten Verlegeanleitung gleich mit.

2.4.4 Entwicklung eines Simulationsmodells auf Grundlage neuer Produktionskonzepte

Zum Zwecke der Untersuchung des Systemverhaltens bestehender Produktionen von Dreischichtparkett und dem Vergleich mit neu entwickelten Produktionskonzepten wurden im Rahmen des Projektes Simulationsmodelle der verschiedenen Produktionsumgebungen erstellt und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Aufbau des Modells

Das in diesem Projekt eingesetzte Simulationstool ist die VIM (Visual Interactive Modelling) Software ARENA[®], ein Produkt von Rockwell Software. Arena besitzt eine graphische Oberfläche, in der die Modellbausteine (Templates) mittels drag-and-drop Funktionalität im Modelfenster platziert und mittels Dialogfenstern parametrisiert werden können (Kelton et al. 1998)

Die Aufbereitung der vorhandenen Produktionsdaten für das Simulationsmodell erfolgte für alle Datenreihen (z.B. Rüst-, Bearbeitungs-, Stör- und Betriebszeiten) für jede einzelne Maschine des Produktionsprozesses. Weiters wurden aus den Produktionsdaten Verteilungsfunktionen von 5 Sortierqualitäten über insgesamt 19 Holzarten errechnet und ebenfalls als Basisdaten eingespeist. Ebenso wurden die vorhandenen Kundendaten aufbereitet, mit dem Simulationszeitraum abgeglichen und kumuliert. Die Implementierung der einzelnen Störfaktoren innerhalb der Produktion, d.h. die Ausfallszeiten und Rüstzeiten der Maschinen, wurde ebenso berücksichtigt. Die einzelnen Ausfallszeiten wurden anhand der verfügbaren Excel Files ausgewertet, mit Hilfe des ARENA Input Analyzer in statistische Verteilungen umgewandelt und als Ressourcenfehler innerhalb des Simulationsmodells abgebildet.

Mit der Erhebung und Aufbereitung aller notwendigen Daten und der Auswertung der statistischen Kennzahlen wurde der erste große notwendige Schritt zur Erstellung eines validen Simulationsmodells der Parkettproduktion geschaffen.

Zusammenfassend sollen hier nochmals die Eckpunkte der erzeugten Modelle dargestellt werden. Im Modell werden 322 Produktionstage einer Dreischichtparkett Erzeugung simuliert, bei der ca. 1 Mio. Dielen in insgesamt 19 Holzsorten und bis zu fünf verschiedenen Qualitäten erzeugt werden. Dafür wurden Produktionsdaten von Februar 2004 bis März 2005 (14 Monate) aller betriebsnotwendigen Maschinen und Kundenauftragsdaten desselben Zeitraums im Rahmen einer Fallstudie erhoben, ausgewertet und aufbereitet ins System eingespielt.

Diese werden wiederum mit den ca. 6500 Kundenaufträgen über mehr als 775.000 Dielen in Einklang gebracht. Als Modellgrundannahme wurde eine reine Dreischichtparkett Produktionslinie betrachtet. Aufgrund der Komplexität der Simulation wurde auch auf eine Animation des Modells verzichtet. Damit wurde bewusst numerischen Analysen auf valider Datenbasis gegenüber verspielter Pseudo-Anschaulichkeit der Vorzug gegeben.

Tabelle 2 gibt einen Überblick, wie die erzeugten (Halb-)Fertigprodukte und ihre Maße zueinander und zu anerkannten Messgrößen im Simulationsmodell in Beziehung gesetzt wurden. Auch diese Kenngrößen stützen sich auf der genauen Auswertung der Datenbasis.

Tabelle 2: Umrechnungsfaktoren zwischen m² und (Halb-)Fertigprodukten

	Rohfriese	Lamelle	Diele	m²
Rohfriese	1	5	0,28	0,125
Lamelle	0,2	1	0,06	0,025
Diele	3,6	18	1	0,45
m²	8	40	2,22	1

Im Zuge der Arbeiten und Analysen am Simulationsmodell wurde eine Politik der permanenten Eingrenzung des validen Lösungsraumes durch die Analyse verschiedenster Varianten der erzeugten Modelle und der abgeleiteten Variationen vorgenommen, um schlussendlich in allen Parametern miteinander vergleichbare Modellumgebungen zu erzeugen. So wurde beispielsweise nach Simulation und Analyse eines umfangreicheren Modells mit mehreren erzeugten Produkttypen, wie bereits erwähnt die Modellumgebung auf eine reine Dreischichtparkett-Produktion, und damit auf den Ein-Produkttyp Fall, beschränkt, da ansonsten keine direkte Vergleichbarkeit der neuen mit herkömmlichen Produktionskonzepten gegeben wäre.

Weiters wurde nach Tests mit zeitlich infiniten Modellen und solchen, welche gegenüber dem Grundmodell um eine Durchlaufzeit eines Produkt verlängert wurden, schlussendlich als Arbeitsgrundlage jenes Modell der Parkettproduktion gewählt, bei der die tatsächliche Zeit (alle Produktionstage im Zeitraum der betrachteten Fallstudie) auch genau dem Simulationszeitraum entspricht. Alle Produktions- oder Kundenaufträge werden im Modell genau zum selben Zeitraum ins System eingelastet, wie dies, soweit es aufgrund der Daten nachvollziehbar war, in der Realität geschehen ist. So konnte gewährleistet werden, dass die im Rahmen der Analyse neuer Produktionskonzepte getroffenen Annahmen auch an der erhobenen Realität gemessen werden konnten.

Auch wurde so eine Validierung der getroffenen Modell-Annahmen möglich, da das Drehen an einer „Schraube“ des Modells unter Beachtung einer ceteris-paribus Bedingung schlussendlich auch zu einem erfolgreichen und vergleichbaren Durchlauf des Simulationsmodells führen musste. War dies nicht der Fall, konnten die getroffenen Annahmen, beispielsweise neuer Sortier- und Zusammenführungskriterien einzelner Lamellen

zu Dielen, als nicht zutreffend abgelehnt werden. Alle erfolgreichen Simulationsmodelle wurden in mehrmaligen Durchläufen getestet, um auch so wiederum die Validität und Vergleichbarkeit der getroffenen Aussagen zu testen, da ARENA durch die hinterlegten Verteilungen verschiedene Ergebnisse liefert. Dabei wurden mit eigens generierten Zufalls-Reihenfolgen sowohl die Produktionseinlastung als auch das Kundenbestellverhalten verifiziert und miteinander verglichen. Erst nachdem ein Modell auf diese Weise erprobt war, wurden die Ergebnisse neuer Produktionskonzepte als mit dem bestehenden Modell vergleichbar akzeptiert. Insgesamt wurden so über 45 verschiedene Modellumgebungen getestet, welche die Grundlage der nachfolgenden Auswertungen und Analysen bildeten.

Modell Status Quo

Diese Simulation bildet den Status Quo in der Produktionsumgebung des untersuchten Naturboden-Herstellers ab und diente als Erst-Referenz der Vergleichsmodelle. Es werden mehrere unterschiedliche Holzboden-Produkttypen auf denselben Maschinen hergestellt, wie das im Projekt betrachtete Dreischichtparkett. Weiters wurde selbstverständlich der Sortierprozess der Produktion im Modell mit abgebildet; Lamellen, welche in 19 verschiedenen Holzarten ins Modell eingespeist werden, werden vor der Verleimung in die erwähnten fünf Qualitäten qA bis qE sortiert, nach denen ebenso von den Kunden geordert wird. Der Entkopplungspunkt, also der Prozess, an dem einem anonym produzierten Werkstück ein Kundenauftrag zugeordnet wird, liegt bei der Entnahme aus der Klimakammer nach der Deckschichtverleimung.

Modell Status Quo ohne gemeinsame Ressourcenbelegung

In diesem untersuchten Modell wurde die oben erwähnte gemeinsame Belegung von Ressourcen aufgelassen. Es wird nunmehr gemäß den Zielsetzungen des Projekts der Ein-Produkt-Fall der Dreischichtparkett Erzeugung simuliert. Diese Umgebung des 1-Produkt-Falls wird auch in allen weiteren beschriebenen Modellen beibehalten.

Modell Status Quo Entkopplungspunkt-Validierung

Mit Hilfe dieser Analyse konnte untersucht werden, wie gut der reale Entkopplungspunkt (Klimakammer-Entnahme) gewählt ist. Es wurde untersucht, wie sich die Produktionsumgebung verhält, sollten die Kundenaufträge im Detail schon vor Beginn der Bearbeitung des Rohstoffs bekannt sein. Dazu wurden als Modell-Input die kumulierten Kundenaufträge auf Tagesbasis inklusive einem geschätzten Ausschuss von zusätzlich 30% eingespielt. Hier kann man von einer Make-To-Order-Umgebung (MTO) sprechen.

Modell Status Quo ABC-Analyse

Wiederum als Variante des Status-Quo wurde eine ABC-Analyse der in der Produktion eingesetzten Holzarten durchgeführt. Dabei wurden die Holzarten nach Anteilen im Input aufsteigend gereiht und eine kumulierte Anteilsberechnung durchgeführt. Die insgesamt sieben Holzarten, welche für ca. 82% des Produktionsvolumens verantwortlich sind, wurden hernach als Input ins Modell eingespeist. Alle anderen Parameter des Simulationsmodells bleiben gegenüber dem Referenzmodell unverändert. Damit wurde wiederum eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser Diversitätsanalyse ermöglicht.

Konzept 1 - Modularer Boden

Die oben beschriebenen verschiedenen Konzepte der Neu-Kombination von Sortierklassen stellen Möglichkeiten dar, das Produkt Parkettboden kundenindividueller gestalten zu können. Dabei kann im Produktionsprozess nach Qualitäten sortiert oder nicht sortiert werden. Auch hierzu wurden verschiedene Simulationsmodelle implementiert und unterschiedliche

Produktionsumgebungen, Kundennachfrage-Situationen und der jeweilige Output berechnet. Die Neukombination des Inputs zu verschiedenen so genannten M_Dielen bildet das Kernstück dieser Konzepte.

Variante 1 der Neukonzeption

Es wird wieder der sortierte 1-Produkt-Prozess untersucht. Auch in der Anzahl der Holzarten und Qualitäten ergibt sich keine Änderung. Neu hingegen ist die Zusammensetzung der nunmehr drei erzeugten Dielen-Varianten (M_Dielen). Diese werden nach den Sortier-Regeln erzeugt. Analog dazu stellt sich wiederum die Nachfrage nach Dielen durch den Kunden dar.

Variante 2 unterscheidet sich zur vorigen im Kombinations-Algorithmus der M_Dielen Produktion. War in Variante 1.0 eine Kombination verschiedener Qualitäten auf einer erzeugten M_Diele verboten, so ist sie in diesem Modell möglich. Dies bedeutet zwar keine Veränderung in der Erzeugung des schlichtesten Erscheinungsbildes, sehr wohl aber für die anderen beiden erzeugten Dielen-Varianten. Die Kundennachfrage wurde analog zum vorigen Konzept modelliert.

Variante 3 - Kombination nach vermuteter Charakteristika-Verteilung

Eine weitere implementierte Simulationsumgebung modellierte eine gänzlich andere Möglichkeit der Kombination von M_Dielen. Dazu wurden in einem Feldversuch 1350 Rohfriesen der Holzart Europäische Eiche (also der Rohstoffinputform des Produktionsprozesses) betrachtet und nach verschiedensten Merkmalen klassifiziert. Weiters wurde versucht, mithilfe der Produktionsdaten die Verteilungsfunktion der Merkmale einer Holzart auf alle 19 Holzarten umzulegen. Dies ergab dann eine Verteilfunktion, wie sie beispielhaft für 3 Holzarten in Tabelle 3 dargestellt ist.

Tabelle 3: Verteilungsfunktion der 16 Holzmerkmale

Holzart diskrete Merkmalsverteilung

1	Disc(0.0959,1000,0.1276,2000,0.1857,3000,0.2005,4000,0.3459,5000,0.3927,6000,0.5411,7000,0.5689,8000,0.6221,9000,0.6417,10000,0.7061,11000,0.7279,12000,0.8596,13000,0.9026,14000,0.9742,15000,1,16000)
2	Disc(0.0937,1000,0.1261,2000,0.1853,3000,0.201,4000,0.3449,5000,0.3926,6000,0.5404,7000,0.5689,8000,0.6234,9000,0.6442,10000,0.7071,11000,0.7283,12000,0.8569,13000,0.9007,14000,0.9738,15000,1,16000)
3	Disc(0.1097,1000,0.1269,2000,0.1585,3000,0.1585,4000,0.4043,5000,0.4297,6000,0.6165,7000,0.6316,8000,0.6747,9000,0.6747,10000,0.7484,11000,0.7732,12000,0.9237,13000,0.9471,14000,0.9860,15000,1,16000)

Das mit diesen Ausgangsdaten gefütterte Modell 3 erzeugt dann wiederum M_Dielen nach verschiedenen Kombinationsschlüsseln. Auch wurde bei der Modellierung der Kundennachfrage eine Upgrade-Funktion eingebaut, Bei dieser Modellumgebung war das Einführen einer solchen Funktion zwingend, um die Simulation überhaupt durchführen zu können. Erst wenn 34% der ursprünglichen Nachfrage nach „Mittelklasse“ m2-Dielen in die Nachfrage nach den schlichtesten Erscheinungsbildern eingerechnet wurden, konnte das Modell unter den getroffenen Annahmen aufgelöst werden.

Da aber die bisher getroffenen Annahmen der Kundennachfrage mit den bisher verwendeten Sortierqualitäten korrelieren, liegt hier der Schluss nahe, dass die oben präsentierten Merkmalsverteilungen nicht korrekt die Realität abbilden. Sowohl die betrachtete Stichprobe kann als zu wenig repräsentativ angesehen werden, als auch wird die Umlegung der Merkmals-Verteilung von einer Holzart auf 19 Holzarten nicht korrekt zutreffen. Dieses

Modell kann daher erst nach Vorliegen valider Daten als vergleichbar weiterentwickelt werden.

Konzept 2 - Unsortierte Produktion

Neben den oben beschriebenen Varianten, die den Prozessschritt „Sortierung“ inkludieren, wurden auch Testumgebungen des Konzepts 2 – Unsortierte Produktion untersucht. Jeweils hintereinander aufgetrennte Lamellen derselben Holzart werden First-Come-First-Serve zu einer Diele verleimt, ohne vorher eine Sortierklasse zugewiesen bekommen zu haben. Nach der Verleimung wird diesen fertigen M_Dielen dem Gesamtbild entsprechend eine bestimmte Kategorie mithilfe eines festgelegten Algorithmus zugeordnet. Weiters sei noch erwähnt, dass ein Praxistest dieser Varianten nahezu unmöglich, weil viel zu kostspielig wäre. Auf die Modellierung der Kundennachfrage in diesen Modellen wurde verzichtet, da der Output dieses Modells bei annähernd 100% der „Mittelklasse“ Diele lag. Aufgrund der streng angenommenen Wahrnehmungsgrenzen der Merkmalsverteilung war mit diesem Modell der unsortierten FCFS- Verarbeitung keine Möglichkeit der Produktion kundenindividueller Parkettböden darstellbar. Das Konzept der Erzeugung kundenindividueller Parkettböden durch Produktion ohne Sortierprozess kann somit als, empirisch nachweisbar, undurchführbar ad acta gelegt werden und wird im Folgenden auch nicht mehr dargestellt. Tabelle 4 zeigt noch, aus wie viel Lamellen welcher Qualitäten in dieser Variante die Durchschnittsdiele zusammengesetzt ist. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die relevantesten getesteten Simulationsszenarien.

Tabelle 4: Zusammensetzung der M_Dielen Konzept 2 – unsortierte Modularisierung

M_Diele	qA	qB	qC	qD	qE
m1	6,5	11,5	-	-	-
m2	0,8	11,9	2,9	2,1	0,2
m3	0	8,13	0	9,8	0

Tabelle 5: Relevanteste Simulationsszenarien

Konzept - Version	Ist-Prozesse	Sortierte Modularisierung Variante 1	Sortierte Modularisierung Variante 2	Unsortierte Modularisierung
Sortierprozess inkludiert	Ja	Ja	Ja	Nein
Sortierqualitäten Holzarten	qA, qB, qC, qD, qE >15	qA, qB, qC, qD, qE >15	qA, qB, qC, qD, qE >15	qA, qB, qC, qD, qE >15
Lamellen pro Diele	L	L	L	L
Versch. Qualitäten pro Diele erlaubt ?	Nein	Nein	Ja	Ja
Mögliche M_Dielen und ihre Zusammensetzung	MA = L*qA MB = L*qB MC = L*qC MD = L*qD ME = L*qE	MA = L*qA MB = L*qB ODER L*qC MC = L*qD ODER L*qE	MA = L*qA MB = x*qB UND y*qC; x+y=L; 0≤x≤L, 0≤y≤L MC = x*qD UND y*qE; x+y=L; 0≤x≤L, 0≤y≤L	MA = x*qA UND y*qB; x+y=L; (L/3)≤x≤L, 0≤y≤(2L/3) MB = SONST MC = x*qD UND y*qE UND z*(qA,qB,qC); x+y+z=L; x+y≥(L/2); 0≤x≤L, 0≤y≤L, 0≤z≤(L/2)
Verteilungsannahme der Kundennachfrage	d(MA) = d(qA) d(MB) = d(qB) d(MC) = d(qC) d(MD) = d(qD) d(ME) = d(qE)	d(MA) = d(qA) d(MB) = d(qB) UND d(qC) d(MC) = d(qD) UND d(qE)	d(MA) = d(qA) d(MB) = d(qB) UND d(qC) d(MC) = d(qD) UND d(qE)	nicht überprüfbar nicht überprüfbar nicht überprüfbar

2.5 Arbeitspaket 4: Analysen anhand des Simulationsmodells

Die Ergebnisse in den vorhergehenden Arbeitspaketen brachten Ergebnisse, die die Darstellung in den im Antrag geplanten Arbeitspaketen nicht für sinnvoll erscheinen lässt. Daher wurde für die Präsentation der Ergebnisse eine in sich geschlossene Form gewählt, die nicht weiter in Abschnitte gegliedert wurde.

Wie bereits im vorigen Abschnitt dargestellt, wurden mit den verschiedensten Simulationsmodellen einerseits das Verhalten des Gesamtsystems unter verschiedensten Bedingungen überprüft und andererseits die zwei entwickelten Konzepte kundenindividueller Massenproduktion auf ihre prinzipielle Durchführbarkeit im Rahmen der Produktionsumgebung von Dreischichtparkett getestet.

Dabei erwies sich das Konzept der „Unsortierten Verarbeitung“, bei dem in der Simulation der Prozess des Klassifizierens einzelner Lamellen (vor ihrer Verleimung zu Dielen) aufgelassen wurde, als in der Praxis nicht durchführbar. Die Quantität der unterschiedlichen optischen Strukturen der jeweiligen Holzart ist nachweisbar so gering, dass durch ein gehäuftes Auftreten das Zustandekommen optisch kategorisierbarer Dielen nicht möglich ist.

Die nachstehenden Grafiken setzen die Ergebnisse zueinander in Relation. Dabei wurde mit der Index-Darstellung aus Rücksicht auf das kooperierende Unternehmen eine Darstellungsform gewählt, welche sehr wohl Richtung und Trend einzelner getesteter Varianten erkennen lässt, aber keine Rückschlüsse auf IST-Daten des Produktionsprozesses zulässt.

Die Relation zu den Kundenaufträgen wird über die zwei gemessenen und berechneten Parameter „Auftragserfüllungsgrad“ und „Erfüllte Aufträge“ dargestellt. Der Auftragserfüllungsgrad gibt das Verhältnis von produzierten Stück über alle Varianten zu den von den Kunden geordneten Stück wieder. Erfüllte Aufträge wiederum setzt die Anzahl der fertig produzierten Aufträge der Anzahl der Kundenbestellungen gegenüber. Verschiedene Werte der Parameter können vorkommen, da auf Grund der Terminierungsbedingung sich am Ende des Simulationsdurchlaufs noch Teile eines Auftrags in der Produktion befinden und daher nicht als fertig produziert gewertet werden. Je höher also der gemessene Parameter, desto eher ist die simulierte Modellumgebung in der Lage, die auf die jeweilige Situation umgelegten Kundenaufträge durch die jeweiligen Kombinations-Konzepte der individuellen Dielengenerierung zu erfüllen.

Die Parameter CODP Lagerabbau und CODP Lagerendbestand zu Anfangsbestand wiederum messen die im Modell verwendeten Lagerkapazitäten und sind somit Gütekriterien, wie sehr die in den einzelnen Modellen erzeugten Produktvarianten die vorhandenen Ressourcen belegen, bzw. wie groß das Potential der Erfüllung der Nachfrage der einzelnen Konzepte unabhängig vom tatsächlich produziertem Output ist. Lagerausgang zu Eingang wiederum gibt an, wie hoch der gesamte Abfluss aller erzeugten Produkte des Modells aus der Klimakammer im Verhältnis zur Menge der insgesamt eingelagerten Produkte ist. Lagerendbestand zu Anfangsbestand setzt wiederum die bei Terminierung des Modells noch im Pufferlager Klimakammer enthaltene Menge dem Gesamtbestand über die Simulationsdauer gegenüber.

Als Lager wird hier der Entkopplungspunkt der Produktion, also die Klimakammer, betrachtet, da diese auch einer der Engpässe im Produktionsprozess ist. Tabelle 6 gibt die

gemessen Werte wiederum für die relevantesten Szenarien im **Mittelwert** der Indizes wieder, Tabelle 7 den **Median**. Dabei ist der IST-Prozess aus Vergleichszwecken immer mit 100 indiziert. Aufgrund der Schwankungsbreiten der Werte bei einzelnen erzeugten Dielenkombinationen werden in der Tabelle sowohl der errechnete Mittelwert als auch der Median dargestellt. Der Median bildet dabei den Wert, der bei der Reihung nach Größe genau in der Mitte liegt und ist damit gegenüber „Ausreißern“ nicht so anfällig wie der Mittelwert.

Tabelle 6: Mittelwerte der Indizes der getesteten Parameter nach Simulationsszenarien

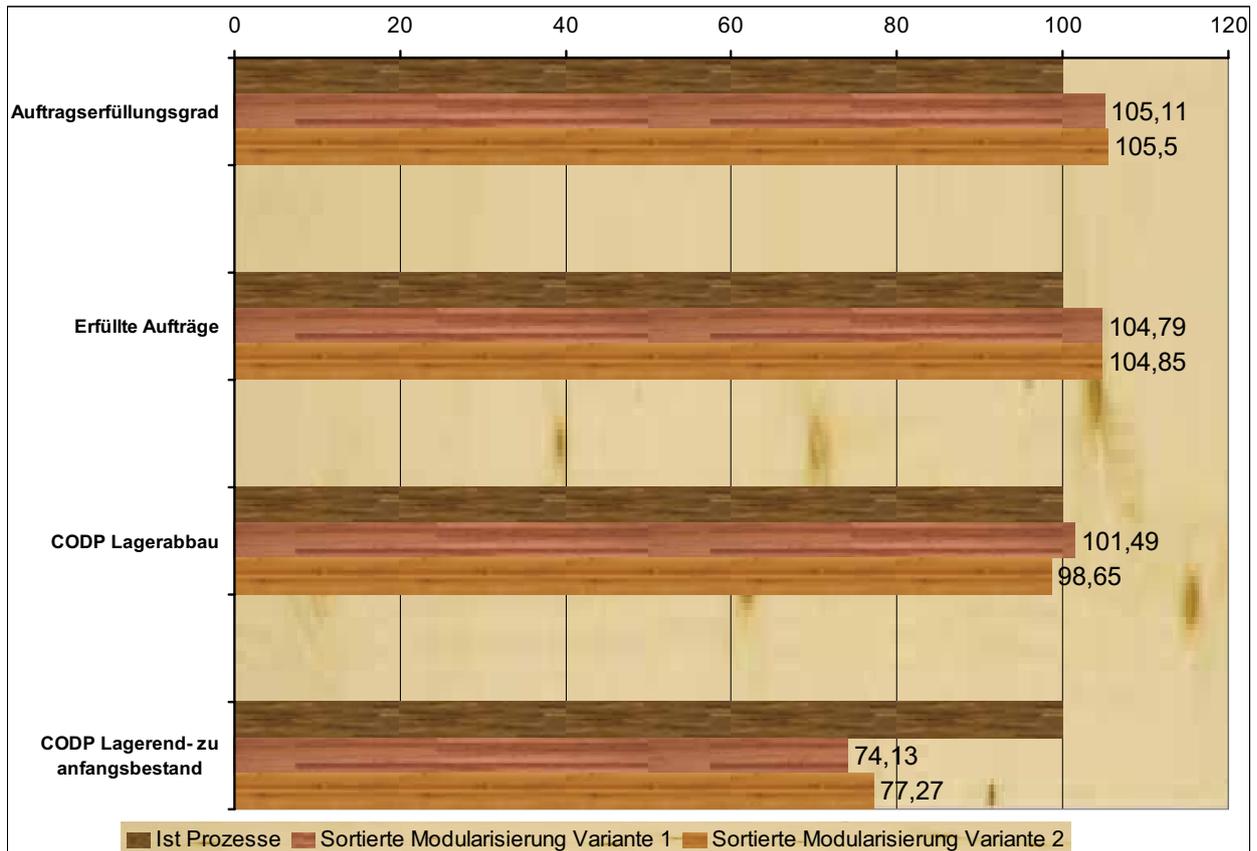
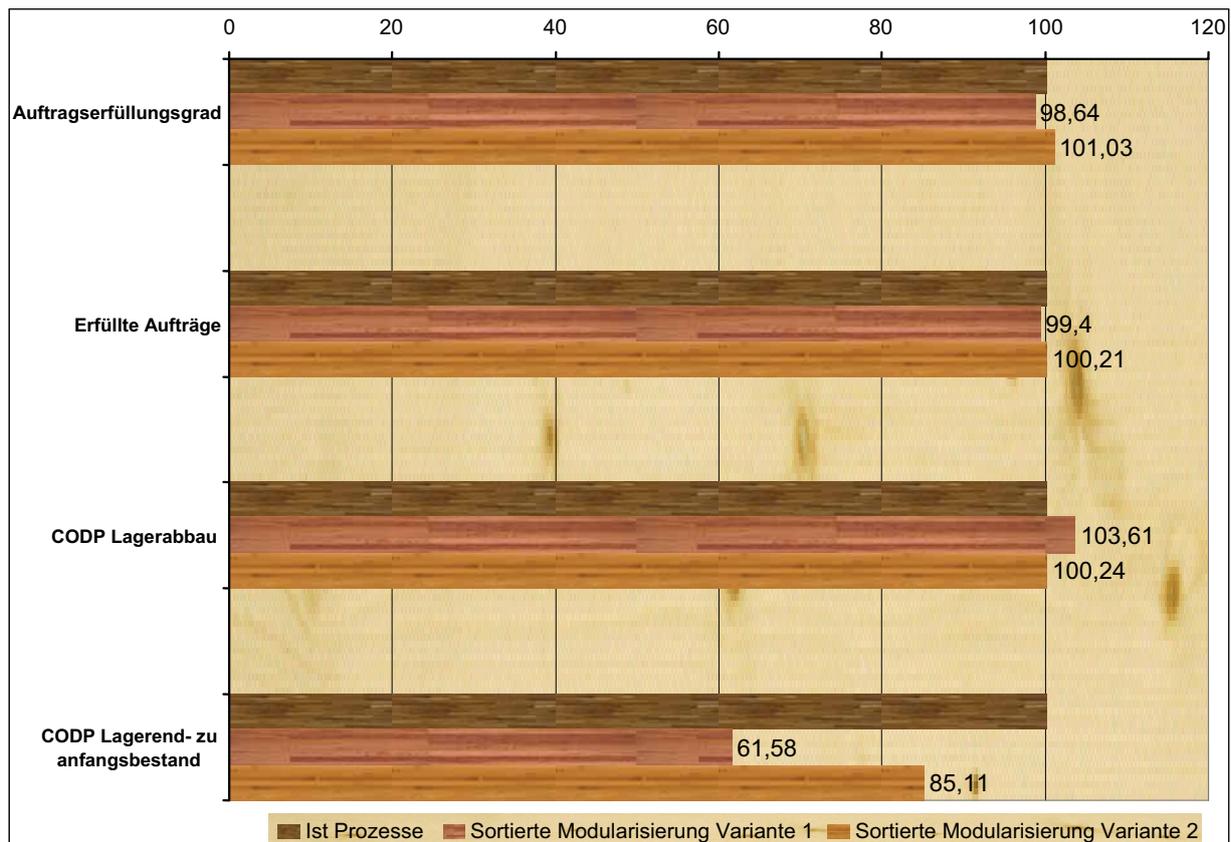


Tabelle 7: Median der Indizes der getesteten Parameter nach Simulationsszenarien



Aus den Ergebnissen klar ersichtlich ist, dass die simulierten Varianten des neuen modularisierten Produktionskonzepts zumindest gleich gute Ergebnisse liefern wie eine vergleichbare heutige Produktionsumgebung. Hierbei lässt sich aufgrund der Daten eine leichte Besserstellung der Variante 2 gegenüber den anderen Modellen konstatieren. Diese ist, obwohl die Möglichkeit an der Kritik der Datenbasis prinzipiell gerechtfertigt ist, durch mehrere, mithilfe von Zufallszahlen und -reihenfolgen generierte, Modelle hindurch erhalten geblieben, was eine gewisse Robustheit der Methode vermuten lässt. Dies bedeutet, dass eine Varianzreduktion in den Sortierklassen eher in der Lage ist, die Aufgabe kundennaher Produktion ohne Einbuße in Qualitätskennzahlen vorzunehmen, als dies eine Varianzreduktion in den Holzarten ist.

Weiters ist ersichtlich, dass diese Variante des neuen Produktionskonzepts unter gewissen Voraussetzungen sehr gut funktionieren kann, was beim ebenfalls im Rahmen des Projekts getesteten Konzept 2 nicht der Fall war. Vor allem die Möglichkeit der Kombination einander sehr ähnlicher Merkmalsausprägungen auf einer Diele kann hierfür verantwortlich sein.

Es muss aber auch erwähnt werden, dass bestehende Konzepte der Dreischichtparkett Produktion, ebenfalls schon sehr kundennahe agieren. Der Grund hierfür liegt sicherlich in der Güte der bestehenden Qualitätsklassifizierung des Rohstoffs, andererseits auch in den dazugehörigen Vermarktungsaktivitäten der Parkettindustrie, die die Kundennachfrage beeinflussen. Allerdings muss festgehalten werden, dass bestehende Konzepte dem Kunden mit diesen Qualitätsklassen Schranken setzen, die für ihn unüberwindlich sind. Die hier getesteten Varianten hingegen erlauben in ihrer Konzeption dem Kunden tatsächliche eine merkmalsübergreifende Bestellung zur Individualisierung seines Produkts Parkettbodens unter teilweiser Verbesserung bzw. zumindest Gleichstellung gewisser Kennzahlen. Es kann

also festgehalten werden, dass diese Konzepte zumindest weiter erforscht werden sollen und müssen, um eine etwaige Praxisumsetzung tatsächlich umfassend vorbereiten zu können.

2.6 *Arbeitspaket 5: Auswirkungen und Zukunftsperspektiven eines neuen Fertigungskonzeptes*

2.6.1 Identifikation von Veränderungen im Produktionsablauf

Notwendige Änderungen hängen von den einzelnen Ansätzen ab. Die stärkste Änderung ist die Sortierung mithilfe optoelektronischer Anlagen. Der Übergang von der Sortierung per Hand durch exzellent geschulte Fachkräfte zur maschinellen Sortierung ist bereits im Gange. In wie viele Klassen letztendlich die Lamellen eingeteilt werden, ist für den Ablauf nur peripher von Bedeutung, da nur die entsprechende Anzahl von Boxen platziert werden muss. Wichtiger Punkt bei der „Individuellen Diele“ ist die Nachvollziehbarkeit von der Planung bis zum gelegten Boden, vor allem die Bereiche der Dielenklassifizierung, Zusammensetzung der Decklagen und Verleimung zu Dielen, damit die korrekte Bildgestaltung gewährleistet bleibt. Die Anforderungen an das Rohmaterial der Decklagen ändern sich dahingehend, dass vermehrt merkmalsbehaftetes Holz Verwendung finden soll.

2.6.2 Identifikation von Konsequenzen auf die Produzenten/Lieferantenbeziehungen

Eine wirkungsvolle merkmalsbezogene Gestaltung erfordert die Verwendung aller möglichen Strukturausprägungen. Davon ausgehend werden die Qualitätsanforderungen zwischen Lieferant und Produzent neu definiert werden müssen. Auch die Bewertung wird auf die neue Grundlage abgestimmt werden müssen. Die Erweiterung der verwendeten Baumteile soll auf alle technisch möglichen und derzeit noch nicht vorstellbaren Bereiche ausgedehnt werden. Dies soll jedoch nicht mit allen Mitteln geschehen, ein vernünftiges Verhältnis von Aufwand und Ergebnis soll eine höhere Ressourcenauswertung ermöglichen. Die Verwendbarkeit aller Baumteile, die groß genug sind, bedingt die Untersuchung der technologischen Eigenschaften, vor allem aber die Kräfte bei zu erwartenden Verzug der Lamellen durch die raumklimatischen Veränderungen zwischen Sommer und Winter. Diese Anforderung bedingt erhöhte Verantwortung und Aufwand bei den Lieferanten. Die Vorbereitung der Rohfrieze liegt im deren Aufgabenbereich. Daher sind vor allem sie für die Organisation des Rohmaterials zuständig. Durch genaue Beschreibung der gewünschten Ausprägungen sind sie daher Ansprechpartner für alle Baumteile, die zwar verwendbar wären, jedoch derzeit in der thermischen Endverwertung landen.

2.6.3 Identifikation der Konsequenzen auf die Mitarbeiter in der Produktion (possible upgrading)

Aufgrund der oben beschriebenen sehr stark auf Automatisierung und Informationstechnologie beruhenden Abläufe des Produktionsprozesses und der Supply Chain wird es großen Umschulungsbedarf für alle bisher manuellen Tätigkeiten in der Produktion von Dreischichtparkett geben. Sowohl Einlagerungs- oder Umschlagstätigkeiten, ebenso wie Kommissioniervorgänge werden automatisiert ablaufen. Sortiertätigkeiten des Rohstoffs werden von opto-elektronischen Sortiermaschinen durchgeführt, RFID-Tags werden von Robotern angebracht und auch wiederum ausgelesen.

Dies muss aber nicht bedeuten, dass eine Parkettfabrik der Zukunft ohne Mitarbeiter ihr Auslangen findet. Im Gegenteil, der Bedarf an höher qualifizierter Arbeit wird steigen. Durch die erhöhte Automatisierung werden selbstverständlich hoch qualifizierte Techniker benötigt,

die einerseits die Roboter programmieren und warten, andererseits auch permanent die Qualität der von Maschinen geleisteten Arbeit im Auge behalten. Weiters wird durch die IT-Lastigkeit der Parkettproduktion der Zukunft Bedarf an gut ausgebildeten Programmierern für Datenbanken und Web-Lösungen bestehen, auch bedürfen sowohl Produktkonfigurator und Warenwirtschaftsdatenbanken einer ständigen Pflege der Daten. Ebenso großer Wert wird auch auf erhöhte Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu legen sein; Innenraumdesigner und -architekten, Holztechnologen, Psychologen, Feng Shui- und Lebensberater werden interdisziplinär und ganzheitlich in „Produktions-Labors“ an der Weiterentwicklung neuer Mustergenerierungen und immer neuer Dielenvarianten und der Verfeinerung ihrer Bestandteile über Inputkontrolle des Holzcharakteristikums arbeiten. Es ist denkbar, dass mithilfe auf den einzelnen Kunden abgestimmter Parkett-Muster ebensolche Effekte erzielt werden können, wie das mit Grünpflanzen und gezielt eingesetzter Farbenlehre heute in der Wohnraumgestaltung schon möglich ist. Neue Muster- bzw. Dielengenerierungen könnten sich auch durch die Kombination verschiedener Holzarten und die Identifizierung neuer Holzarten (eventuell auch anderer Werkstoffvarianten) ergeben. Ein besonderer Fokus könnte auch dabei auf den Einsatz von neuen Werkstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe (z. B. ligninbasierte Composite, Composite aus Reststoffen der Landwirtschaft, Lebensmittelkette usw.) liegen, wobei auch speziell der Farbgebung eine große Rolle zukommen kann. Ebenso sind dann auch Lamellen aus modifiziertem Holz einzubeziehen (Teischinger 2006), wodurch sich sowohl der Sortiervorgang wie auch die Konfigurierung ändern würden.

2.6.4 Identifikation der Konsequenzen auf die Wertschöpfungskette Parkett

Jedes Holzstück hat für bestimmte Anwendungen je nach Tauglichkeit und technologischer Eigenschaften einen gewissen Wert. Im Projekt wurde jede Lamelle gleichwertig behandelt. Gewisse Unterschiede werden sich durch die Regeln von Angebot und Nachfrage ergeben, grundsätzliche Vorgabe ist allerdings, dass jede Lamelle unabhängig von ihrem Aussehen, den gleichen Wert hat. Genauere Untersuchungen sollen noch zeigen, welchen Einfluss innere Kräfte der Lamellen (durch Schwinden und Quellen) auf die Verlegequalität besitzen. Die Lieferanten müssen einerseits genaue Informationen erhalten, welche Ausprägungen benötigt werden, andererseits wird es an ihnen liegen, alle verwendbaren Teile eines Baumes in entsprechender Form zur Verfügung zu stellen.

Die verschiedenen Ansätze nutzen eigene Vertriebsmöglichkeiten. Der individuelle Boden braucht eine gründliche Beratung durch kompetentes Fachpersonal. Vorgefertigte Bodenbilder können im Do-it-yourself Bereich eines Baumarktes ohne viel Beratung (ev. Hinweis auf gestalterische Möglichkeiten zum „Auffüllen“ der Restflächen) angeboten und vertrieben werden.

2.6.5 Identifikation der Integrationsmöglichkeiten von Integrierten Informationskonzepten

2.6.6 Durchführung eines Workshops mit Vertretern aus der Industrie

Teilnehmer:

Vertreter folgender Parkettindustrien

tilo gmbh – Lohnsburg a. K.

Stöckl GesmbH, Kematen/Ybbs

Rutan Holzvermarktungs GmbH, Fürstenfeld:

Bauwerk/Kähns: St. Margarethen, Schweiz

Steirer Parkett: Scheucher Holzindustrie GmbH, Mettersdorf
Fischer Parkett, Michaelbeuern
HOCO Holz, Eggenfelden, Deutschland
Weitzer Parkett, Weiz wurde in einem separaten Termin informiert.

Institut für Holzforschung/BOKU
Univ.Prof. Dr. Alfred Teischinger
DI Johannes Gelhart
Univ.Ass. Dr. Margareta Patzelt

Institut für Produktionswissenschaften und Logistik/BOKU
Mag. Hans Häuslmayer
Univ.Prof. Dr. Manfred Gronalt

Design und Bodengestaltung
DI arch. Brigitte Kny

Eingeladen und informiert über die Ergebnisse des Workshops
Fachverband der Holzindustrie, Fachgruppe Parkettindustrie: C. Bawart (Präsident der
Österreichischen Parkettindustrie) und Mag. D. Lechner

Die Präsentation der Ergebnisse, sowohl von der technologischen Seite, als auch vom
Produktionsmanagementbereich, wurde mit viel Interesse aufgenommen.

In der Diskussion wurde auch die Problematik der Oberflächenbehandlung angesprochen, wo
im derzeitigen Trend die Textur in den Hintergrund gestellt wird.

Im Sinne des Projektes ist die Überlegung, dass die Parkettziele nicht mehr als Endprodukt
gesehen wird, sondern als Halbfertigprodukt, welches zur Bodengestaltung dient. Dem
Kunden werden im Idealfall aktuell im Lager liegende Dielen zur Gestaltung virtuell
vorgelegt. Einfachere Ansätze mit einer gewissen Unabhängigkeit von einer
Internetverbindung bietet die Darstellung äquivalenter Dielen. Leichte Änderungen in der
Bodengestaltung müssen in Kauf genommen werden.

Die Idee der Design Programme wie das vorgestellte tiloVCAD oder ESIGN ermöglichen
eine umgebungsabhängige Bodengestaltung. Wichtig hierbei sind gut geschulte Fachkräfte,
die einerseits Erfahrung im Innenraumdesign besitzen und andererseits gut mit dem
Programm umgehen können. Gerade diese qualifizierten Fachkräfte stellen ein Hauptproblem
bei der hochwertigen Beratung der Kunden.

Daraus ergibt sich die Vorgabe, dass eine genaue Zielgruppe für die jeweiligen
Produktionsansätze definiert werden müssen. Durch deren Analyse kann die Produktion auch
darauf abgestimmt werden. In der Diskussion wurden letztlich zwei Gruppen von Kunden
festgelegt: die eine hat Geld und Zeit und will einen qualitativ hervorragenden Parkettboden,
welchen sie in der Planungsphase mitgestalten kann und die eine intensive
Auseinandersetzung mit den natürlichen (Planungs-) Möglichkeiten schätzt. Die zweite
Gruppe an Kunden hat gerade genug finanzielle Mittel, um sich einen Parkettboden leisten zu
können. Sie will den Boden sofort und möglichst billig. Hier werden eine ordentliche
Beratung und die Ausnützung der natürlichen Gestaltungsmöglichkeiten nur bedingt möglich
sein.

Eine Unsicherheit bei den anwesenden Teilnehmern bestand in Fragen des Vertriebes und der
Planung. Hier sind Marketing, Marktbeobachtung und Sensibilisierung der Kunden auf die
natürlichen Holzstrukturen gefragt. Die gute Aufbereitung der Strukturen und der
Gestaltungsgrenzen für die Kundschaft ist entscheidend für die Akzeptanz und Umsetzbarkeit

der entwickelten Ansätze. Beispielkataloge sollen den Fachhändler bei der Beratung und die Ideenentwicklung der Kundschaft unterstützen.

Etwaige Probleme in der Produktion standen nicht zur Debatte. Nur die hohe Anzahl an Sortierklassen des Ansatzes der „Individuellen Diele“ wurde in Frage gestellt. Eine kurze Diskussion über die Auffälligkeit der Strukturen ergab, dass diese, unter der Voraussetzung, man habe sich damit beschäftigt, sehr wohl gegeben sei.

Die Idee der „Modularen Diele“, bei der die Länge ein Vielfaches der Breite ist, wurde interessiert aufgenommen, die einhellige Meinung war aber, dass dies eine Idee für den einlamelligen Zweischichtparkett ist. Die modulare Diele ist durch die modulartigen Aufbau der Abmessungen charakterisiert. Die Außenabmessungen sind ein Vielfaches der inneren Aufteilung der Dielen.

2.6.7 Erstellen einer Roadmap für zukünftige Produktionsanlagen und –techniken

Die Entwicklungen im Projekt konzentrierten sich auf Dreischichtparkett. Die Simulationen zeigen die Ergebnisse einer Fertigung dieser Dielen. Die Ergebnisse bzw. die neuen Sortieransätze sind allerdings für alle Bereiche der optischen Sortierung einsetzbar. Große Einsatzgebiete ergeben sich in der Massivholzplattenproduktion, insbesondere bei der Gestaltung von Wandverkleidungen, in der Möbelindustrie udgl. Einsatzbereiche sind auch in der Furniersortierung denkbar.

Die gesamte Produktion sowie das Marketing und der Vertrieb sind auf die Sortierung abgestimmt. Daher ist der wichtigste Schritt die Ausarbeitung einer nachvollziehbaren Sortierung für alle verwendeten Holzarten. Die Gestaltung vorgefertigter Designs, welche auf die Quantität der einzelnen Sortierklassen basiert, bietet eine optimale Ausnutzung des Rohstoffes. Der Boden wird im Ganzen angeboten. Der Kunde kann nur zwischen den einzelnen Bildern wählen und hat keinen Einfluss auf den Produktionsablauf.

Folgende Punkte sind in weiteren Forschungsarbeiten zu untersuchen:

- Ausarbeitung der Materialverluste vom Baum zum Produkt – Entwicklung sparsamer Produktionsmethoden (Ressourceneffizienz)
- Erarbeitung von Grenzen der Verwendbarkeit diverser Baumteile (Holz genügend großer Äste, Astansätze im Stammholz, Reaktionsholz, Opposite Wood u. a. Merkmale)
- Auslesen der optoelektronischen Sortieranlagen: Wichtig für die Gestaltung weiterer Bilder ist die kalkulierbare Menge in den entwickelten Sortierklassen
- Beispielkataloge für gesamte Raumgestaltungen diverser Nutzungen (Anwendung für Boden, Wand Decke und Möblierung) in Abhängigkeit des Konzeptes 3. Gleichzeitige Entwicklung einer kundenorientierten Design-Software.

Beitrag des Projekts zu den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung

Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung:

Das Projekt war darauf aufgebaut, den Kundenwunsch bereits in die Konfigurierung der Endprodukte mit einzubeziehen, also ins Produktionsmanagement zu integrieren. Das bedeutete, Möglichkeiten zu erörtern, wie der Endkunde seinen gewünschten Parkettboden bezüglich Farbe, Muster und Verlegeart genau passend zum Raum und dessen Nutzung auswählt und dieses Muster optimal in die Produktion integriert wird (Sortierung, Pufferspeicher, Paketierung, Auslieferung,...). Der Zwischenhändler wird zur zentralen Schnittstelle einer möglichen Konfiguration des Bodens durch den Endkunden. Dadurch wird seine Bedeutung als hochwertige Dienstleistungseinrichtung aufgewertet, was auch einen Mehrwert an Beratungsleistung nach sich zieht. Ablauforganisatorisch bekommt der Verleger genau gekennzeichnete Pakete geliefert, welche auf der Baustelle nach Plan verlegt werden, was trotz der Kundenindividualität die Kosten für die Verlegearbeit minimiert und damit Beratungsaufwand und individuelles Design (Preis-Leistungsverhältnis) in ein vernünftiges Verhältnis setzt.

Nutzung erneuerbarer Ressourcen:

Holz ist eine erneuerbare Ressource, welche in Österreich in einem großen und ständig wachsenden Ausmaß vorhanden ist und deren Nutzung eng mit den Traditionen und der wirtschaftlichen Entwicklung besonders der ländlichen Regionen verbunden ist. Derzeit gängige Sortiervorschriften, Normen und Gebräuche hinsichtlich Ästhetik und Nutzbarkeit von Holz(produkten) sind einer naturgerechten und effizienten Nutzung der Ressource Holz nicht immer zuträglich, da bestimmte Merkmale wie z.B. Farbstreifen bereits als Fehler eingestuft werden. Mit solchen „Fehlern“ behaftetes Holz wird oft aus der weiteren Produktionskette ausgeschlossen oder nur zu sehr verminderten Preisen als Produkt angeboten. Neue im Projekt vorgeschlagene Zugänge zur Sortierung tragen dazu bei, dass mehr Holz höherwertig verwendet werden kann und insgesamt ein kundenindividueller Holzboden gegenüber synthetischen Werkstoffen konkurrenzfähig angeboten werden kann.

Effizienzprinzip:

Die in diesem Projekt erstellten Modelle und Konzepte zielen darauf hin, einen gesamten Produktionsprozess inklusive der Anknüpfungspunkte effektiver zu gestalten. Die Effektivität soll in folgenden Arbeitsschritten gesteigert werden: Kundenkontakt, Auftragserteilung, Einkauf, Sortierung, Fertigung, Zwischenlagerung, Paketierung, Lieferung, Verlegung.

Rezyklierungsfähigkeit

In der vorliegenden Konzepterstellung wurde die Produktion von mehrschichtigem Massivholzparkett angedacht, ein Produkt, welches eindeutig rezyklierungsfähig ist bzw. in einem weiteren Zyklus ohne Probleme thermisch verwertbar ist. Rohstoffanteile, die nach dem konventionellen Produktionsschema derzeit einer thermischen Verwertung im ersten Produktionszyklus zugeführt werden, können nach dem neuen Konzept zuerst einem Zyklus der stofflichen Nutzung zugeführt werden.

Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit

Gerade die neuen Konzepte des Produktionsmanagements wie Postponement gepaart mit neuesten Tools der Informationstechnologie erlauben einen flexiblen Zugang zu Produktionsmechanismen. Durch die Simulation von Arbeits- und Produktionsabläufen konnten die Konzepte den verschiedensten Anforderungen vorerst virtuell angepasst, bewertet und dann in die Praxis umgesetzt werden. Neuerungen im System und die sich daraus ergebende Konsequenzen sind simulierbar und werden dadurch transparent und abschätzbar.

Dies ist eine große Erleichterung für künftige Unternehmensentscheidungen in holzverarbeitenden Betrieben. Mit dem vorgeschlagenen Konzept werden eingefahrene Bahnen bei der Produktion von Holzprodukten verlassen, was durch die Simulation ohne Risiko erprobt wurde. Die simulierten Prozesse konnten mühelos adaptiert werden und Verbesserungen konnten jederzeit integriert werden.

Fehlertoleranz und Risikovorsorge

Die Parkett erzeugenden Betriebe mit vorwiegend Massivholzverarbeitung und deren Produktionsmethoden stellen bereits jetzt keine potentielle Gefahr für gesamte Landstriche und Generationen dar, die umweltrelevanten Auswirkungen der Betriebe sind gering und eindeutig definierbar. Eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung einer Region unter ökologischen Gesichtspunkten wird durch eine effiziente Parkettbodenfabrikation gefördert.

Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

Das vorliegende Projekt soll auch eine Grundlage bilden, um in weiteren Demonstrationsprojekten konkrete Schritte in Richtung Regionalentwicklung mit Hilfe einer innovativen und wirtschaftlich konkurrenzfähigen Holzindustrie zu setzen. Grundsätzlich ist die nachhaltige Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen immer von der wirtschaftlichen Entwicklung einer Region abhängig. Die holzverarbeitende Industrie ist zum Großteil in ländlichen und strukturschwächeren Regionen beheimatet, was sich aus der Nähe zum „Rohstofflieferanten Wald“ ergibt. Durch den Einsatz neuer Produktionsmanagement-Methoden können die Betriebe leistungsfähiger produzieren und dadurch Arbeitsplätze im ländlichen Raum geschaffen werden, welche unterschiedliche Qualifikationsprofile vom Arbeiter bis zum Marketingspezialisten ansprechen. Höher qualifizierte Arbeitsplätze bewirken auch ein erhöhtes durchschnittliches Nettoeinkommen der Bewohner einer Region.

3 Glossar

3.1 *Begriffe Parkettproduktion*

- Attribute sind die verschiedenen Kriterien der Sortierung
- Attributwerte sind die Ausprägungen der Sortierkriterien
- Click-Lock-System: Anglizismus für Klick-Mechanik
- Decklage(n), Deck: oberste und daher optisch sowie technologisch wichtigste Schicht eines Dreischichtparketts
- Designmerkmal: als singuläre Erscheinung oder aber auch in höherer Anzahl visuell stark wirkendes Holzmerkmal
- Diele: massive oder mehrschichtige Verlegeeinheit, deren Oberfläche aus ein oder mehreren Elementen besteht
- Dielentypen: verschiedene jeweils gruppierte Erscheinungsbilder von Decklagen mit ähnlichen Merkmalen
- Dreischichtparkett: Parkett aus drei Schichten, siehe Mehrschichtparkett
- Edelrift: Winkel zwischen Brettfläche und Jahrring beträgt 90° (Holzlexikon 2003)
- Feder: Gegenstück zur Nut; langer, schmaler und dünner Holz- bzw. Holzwerkstoffstreifen, der in eine Nut eingesetzt wird. In der Parkettindustrie finden meist angehobelte Federn Einsatz. Kennzeichen derselben sind, dass sie aus dem bestehenden Dielenmaterial gefräst wurden
- Fries: gehobeltes und abgelängtes Brett, Abmessungen entsprechend der Lamellengröße und der mehrfachen Dicke plus Schnitffugen
- Halbrift: Bretter mit mindestens 30° Jahrringwinkel zur Brettfläche (Holzlexikon 2003)
- Holzfehler: Alle Ausprägungen die der geplanten Verwendung nicht entsprechen bzw. entgegen wirken, können in Bezug auf diese Verwendung als Holzfehler betrachtet werden. Jedoch kann diese Ausprägung bei anderer Verwendung durchaus sehr wertvoll sein (König 1957)
- Holzmerkmale: Merkmale des Holzes entstehen durch Wuchs und externe Einflüsse auf denselben. Die Größe und Ausprägung sind von verschiedenen Faktoren abhängig. Grundsätzlich sind alle den natürlichen Wuchs betreffenden Unregelmäßigkeiten als Merkmale zu betrachten. Definition nach EN 844-1 (1995): physikalische, morphologische oder Wachstumsbesonderheit von Holz, welche seine Verwendung beeinflussen könnte. Merkmal als Begriff ist jedenfalls dem üblichen jedoch der Sache unzutraglichen Wort „Holzfehler“ vorzuziehen, da nicht jedes Merkmal stets auch ein Fehler sein muss (Holzlexikon 2003, König 1957)
- Lamellen: dünne Brettchen aus Holz; Elemente aus welchen Dielen zusammengesetzt werden; hergestellt werden sie aus Friesen durch Auftrennen mit Dünnschnittsägemaschinen
- Klick-Mechanik: zerlegbare Nut- und Federverbindung bei Fertigparkettelemente (Holzlexikon 2003)
- Mehrschichtparkett: mehrschichtige Konstruktion, die aus Elemente mit einer Nuttschicht aus Massivholz und einer oder mehreren Schichten aus Massivholz oder Holzwerkstoffen besteht, die miteinander verleimt sind (EN 13489, 2003)
- Mittellage: meist aus Nadelholz bestehend, Faserrichtung normal zu der Decklage und dem Gegenzug orientiert
- Nut: lange Vertiefung an Längs- und/oder Breitseite(n)

- Nutzschiicht: ist der Teil des Aufbaus, der die oberste Schicht bildet, entspricht im Wesentlichen der Decklage
- Rift: Winkel zwischen Brettfläche und Jahrringen beträgt zwischen 90 und 60°
- Riftschnitt: spezielle Schnittführung beim Aufschneiden eines Stammes, um eine möglichst hohe Anzahl von Brettern mit stehenden Jahrringen zu bekommen (Holzlexikon 2003)
- Rohfries: sägeraues Brett, das etwas größere Abmessungen als ein Fries hat (Übermaß)
- Rückseite/Gegenzug: befindet sich gegenüber der Decklage, besteht wie die Mittellage meist aus Nadelholz (gesägt oder Schälfunier)
- Scharfschnitt: das Bloch wird ohne Besäumung in Bretter oder Pfosten aufgetrennt
- Schwimmende Verlegung: vom Untergrund unabhängig verlegt
- (optische) Struktur: Gesamtbild bestehend aus der Textur, der Farbe und anderer vorhandener Wuchsmerkmale
- Textur: visuelles Erscheinungsbild eines Holzes, dass durch seine anatomische Struktur und die Breite und Regelmäßigkeit seiner Wachstumsringe bestimmt wird (Holzlexikon 2003)
- Verlegeeinheit: vorgefertigte Elemente, mit oder ohne fertig applizierter Oberfläche
- Wange: Teil oberhalb der Nut

3.2 Maschinendefinitionen

- Ablängen: Schneiden von Rund- oder Schnittholz auf bestimmte Länge (Holzlexikon 2003)
- Ablängsäge: dient zum Abschneiden der Rohfrieße auf die gewünschte Länge; ist meist in der Bauart einer Kreissäge ausgeführt
- Decklagenverleimung: Verpressen der Lamellen und Austrocknen der Leimfugen (u. U. per Hochfrequenztroeknung)
- Decklagenzusammensetzung: Beleimen der Seiten und Zusammenführung der ganzen und halben Lamellen zu einer Decklage
- Dünnschnittgatter: Sägemaschine vom Bauprinzip eines Gatters, jedoch mit angepasster Zuführeinrichtung und optimiert dünner Schnittfuge
- Dünnschnittkreissäge: wie Dünnschnittgatter, Sägeprinzip basiert auf Kreissägentechnologie
- Kantenprofilierung durch Bearbeitungszentrum mit entsprechenden Fräswerkzeugen
- Lackierstrasse: Aneinanderreihung von benötigten Oberflächenbearbeitungsanlagen, z.B. Breitbandschleifmaschinen, Kittstation, Lackauftragsmaschinen, UV Trockner usw.
- Presse: Zusammenkleben der einzelnen Schichten zu einer Diele
- Sortieranlage: Bereich der Fertigung, indem die Lamellen nach bestimmten Kriterien in verschiedene Klassen aufgeteilt werden, Sortierung kann durch Personen und/oder optoelektronische Anlagen erfolgen
- Vierseitenhobelmaschine: Hobelmaschine mit vier oder mehr Messerwellen, um alle Seiten in einem Durchgang bearbeiten zu können, sowie eventuell benötigte Profile anfräsen zu können (andere Bezeichnung: Kehlmaschinen)

3.3 Definitionen Produktionsmanagement

- Mass Customization (kundenindividuelle Massenproduktion): Verbindung zweier gegensätzlicher Produktionskonzepte (Massenproduktion/Standardisierung – Einzelfertigung/Individualisierung). Lt. McCarthy (2004) die Fähigkeit von Unternehmen einen relativ hohen Output an verschiedenen Produktvarianten für einen relativ großen Markt, welcher nach individualisierten Produkten verlangt, zu produzieren, ohne dabei Trade-Off's in den Kosten, der Qualität oder den Lieferzeiten gegenüber einer Massenproduktion standardisierter Güter in Kauf zu nehmen. (<http://www.mass-customization.de/wasist.htm>, 9. 9. 2005)
- Postponement Strategien: eine Umsetzungsmöglichkeit von MC-Konzepten der Produktionslogistik: Organisation und Distribution von Produkten, mit dem Ziel, die Produktindividualisierung so nahe wie möglich an dem (zeitlichen) Punkt vorzunehmen, an dem die Nachfrage soweit wie möglich bereits bekannt ist
- Entkoppelungspunkt: in Massenfertigung produziertes Produkt wird an diesem einem Kundenauftrag zugeordnet; weitere Bezeichnungen: product decoupling point, order-penetration point, Customer order decoupling point (CODP)...
- FCFS Politik: (*first come – first served*): ist ähnlich der “first in – first out” Politik; was zuerst kommt, wird zuerst bearbeitet
- Point of Product Differentiation: Bezeichnung für den Punkt in der Supply chain, an dem das Produkt einzigartig wird, jedoch nicht individualisiert.
- Produktkonfigurator: Software, mit denen Produkte kundenindividuell erzeugt werden können (<http://de.wikipedia.org/wiki/Konfigurator>; 26. 9. 2005)
- Trade off: negative wechselseitige Abhängigkeit zweier Aspekte (<http://de.wikipedia.org/wiki/Trade-off>; 26. 9. 2005)

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4: Beispiele einiger Designs und optische Wirkung (eigene Darstellung)	8
Abbildung 5: punktuelle Akzentuierung in einer Fläche, ein "Spot "	18
Abbildung 6: Bild mit hellem Kreis und Fladerfüllung	18
Abbildung 7: Boden mit "Kreuzung"	18
Abbildung 8: Gleitender Übergang von hell zu dunkel	21
Abbildung 9: Darstellung eines Baumes	21
Abbildung 10: Darstellung der herkömmlichen Sortierklassen nach ÖNORM B3000	25
Abbildung 11: Schema einer aktuellen Fertigfußbodenproduktion (eigene Darstellung)	26
Abbildung 12: Produktionsprozesse Parkettindustrie	28
Abbildung 13: Übersicht der optischen Holzstrukturen (eigene Darstellung)	31
Abbildung 14: Querschnittsdarstellung der Texturen (Eigendarstellung)	32
Abbildung 15: gestreifte Textur	32
Abbildung 16: gefladerte Textur	32
Abbildung 17: Übergang Flader zu gestreifter Textur	32
Abbildung 18: gestreifte Textur mit Spiegel	32
Abbildung 19: Anteile der Texturklassen in den untersuchten Friesen	33
Abbildung 20: Aufteilung der Holzarten nach Grundfarben (Wagenführ 1996)	34
Abbildung 21: sehr helle Lamelle	34
Abbildung 22: helle Lamelle	34
Abbildung 23: dunkle Lamelle	34
Abbildung 24: sehr dunkle Lamelle	34
Abbildung 25: Häufigkeiten der Lab-Werte von Eichenlamellen (aus eigener Messung, unveröffentlicht) mit Beispielen gegenüberliegender Farbbereichen (eigene Darstellung)	35
Abbildung 26: Darstellung des CIELab – Farbraumes (http://www.haberbeck.de/upload/images/seiten/cie_lab002.jpg ; 24. 3. 2006)	36
Abbildung 27: Runde Äste: dunkler und gut verwachsen	37
Abbildung 28: Lamelle mit ovalem Ast	37
Abbildung 29: Lamelle mit Flügelast	37
Abbildung 30: schlichte Lamelle mit Kern und Splint	37
Abbildung 31: Lamelle mit fleckigen Verfärbungen	37
Abbildung 32: Merkmalsverteilung der aufgenommenen Frieße (Eiche)	38
Abbildung 33: Verschiedene Parkettmuster aus einheitlich vorgegebenen Lamellen	39
Abbildung 34: Mögliche und IST-Entkopplungspunkte	39
Abbildung 35: Neukonzeption - Übersicht	40
Abbildung 36: Mögliches Beispiel eines Bodens aus M_Dielen (eigene Darstellung)	41
Abbildung 37: Konzept Unsortierte Produktion (eigene Darstellung)	41
Abbildung 38: Materialfluss der Deckschichtzusammenführung von Lamellen (Quelle: eigene Darstellung)	42
Abbildung 39: schematische Darstellung der 30 Klassen	43
Abbildung 40: Gestaltungsvarianten mit optisch indirekt wirkenden Richtungsweisern	44
Abbildung 41: intuitive Wegweisung mittels Flügelästen und Splint-Kern Lamellen	45
Abbildung 42: Richtungsweiser mittels Holztexturen	46
Abbildung 43: Platzgestaltung durch Konzentration gleicher Lamellen	47
Abbildung 44: Dielenverlegung in tiloVCAD (www.tilovcad.com)	49
Abbildung 45: Beispiel eines individuellen Bodens in tiloVCAD	50

5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mass Customization-Strategien	22
Tabelle 2: Umrechnungsfaktoren zwischen m ² und (Halb-)Fertigprodukten	54
Tabelle 3: Verteilungsfunktion der 16 Holzmerkmale.....	56
Tabelle 4: Zusammensetzung der M_Dielen Konzept 2 – unsortierte Modularisierung	57
Tabelle 5: Relevanteste Simulationsszenarien	57
Tabelle 6: Mittelwerte der Indizes der getesteten Parameter nach Simulationsszenarien	59
Tabelle 7: Median der Indizes der getesteten Parameter nach Simulationsszenarien.....	60

6 Literaturverzeichnis

- Ahlstrom, P., Westbrook, R. (1999), Implications of mass customization for operations management. An exploratory survey. *International Journal of Operations & Production Management*, 1999. 19(3). S 262ff.
- Anonym.a (2003): Die neuen EN-Normen für Parkett- und Holzfußböden: Umfassend, aber leicht verständlich. *Boden – Wand – Decke*. Nr. 9/2003, S. 30-34
- Anonym b (2003), Möbelfertigung im Kundentakt. *Holz-Zentralblatt* 55, 2003.S.: 827.
- Astrand, E. (2000), Presentation of the Intelliwood related work at the 4th International Conference on Image Processing and Scanning of Wood, Mountain Lake Resort, Mountain Lake, Virginia, USA, August 21-23, 2000
- Bosshard, H. H. (1982) zweite Auflage: *Holzkunde 1: Mikroskopie und Makroskopie des Holzes*, Birkhäuser Verlag, Basel – Boston – Stuttgart
- Bosshard, H. H. (1984) zweite Auflage: *Holzkunde 2 : Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes*, Birkhäuser Verlag, Basel – Boston – Stuttgart
- Broman, N. O. (1995), Visual Impressions of features in Scots pine wood surfaces: A qualitative study. *Forest Products Journal* 45(3), 61-66.
- Broman, N. O. (1995), Attitudes toward Scots pine wood surfaces: A multivariate approach. *Mokuzai Gakkaishi* 41(11), 994-1005.
- Broman, N. O. (1996), Two methods for measuring people's preferences for Scots pine wood surfaces: A comparative multivariate approach. *Mokuzai Gakkaishi* 42(2), 130-139.
- Broman, N. O., Grönlund, A. (1996), The end-users' requirements for the aesthetical features of Scots pine wood. In: *Proceedings of the second IUFRO Workshop WP S5. 01-04. South Africa*, pp. 343-352.
- Broman, N. O. (2000), The measurement of wood features in knotty Scots pine wood surfaces and the connection with people's preferences. Presented at the 4th International Conference on Image Processing and Scanning of Wood. August 21-23 2000, Mountain Lake, Virginia, USA.
- Broman, N. O. (2001), Aesthetic properties within knotty wood surfaces and their connection with people's preferences. *J Wood Sci* 47:192-198.
- Bucklin, L. P. (1965), Postponement, Speculation and the Structure of Distribution Channels. *JMR, Journal of Marketing Research*, 1965. 2(1). S. 26-31.
- European Federation of the Parquet Industrie 2005: *Fepnews4-2005.pdf* www.parquet.net (12. Februar 2006)
- Gronalt, M. (2001), Einsatz der Simulation zur Materialfluss- und Kapazitätsanalyse am Beispiel der Spanplattenproduktion. *Holzforschung und -verwertung* 5, 2001. S. 92.
- Hamberger, P. (1995), *Die Parkettindustrie in Westeuropa. Eine Branchenanalyse unter besonderer Berücksichtigung des österreichischen und deutschen Marktes*. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien.
- Johnstone, B. (1994), Kitchen Magician. The surprising leader in the commercial VR sweepstakes is Matsushita?! *Wired* 2.07. 1994. o.P.
- Kelton W.D., Sadowski R.P., Sadowsky D.A. (1998), *Simulation with ARENA*, McGraw.
- Kisseloff, P. (1974), Die moderne Parketherstellung - Stand der Technik. In: *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1974, 32. S.: 127-134.
- König, E. (1957), *Fehler des Holzes*, Holz-Zentralblatt-Verlag-GmbH, Stuttgart

- König, E. (1967): Fachkunde des Holzhandels, DRW-Verlags-GmbH, Stuttgart
- Kline, D.E., Wiedenbeck, J.K., Araman, P.A. (1992), Management of wood products manufacturing using simulation/animation. Forest Products Journal, 1992. 42(2). S.: 45-52.
- Kruse K, Teischinger A, Emmeler, R, Tobisch S (2002): Wood based floor coverings. In: Wood Adhesion and Glued Products. COST E 13, C-J Johansson, A Pizzi, M v. Leemput (Ed.), Brüssel 2002. S. 131-147
- Mauritz R, Solar F, Bodner J, (1994): Holzfußböden. ProHolz Holzinformation Österreich, Wien (heute ProHolz Austria)
- McCarthy, I.P. (2004), Special issue editorial: the what, why and how of mass customization. Production Planning & Control, 15, 4. 347-351.
- Melies W, (2003), Blitzstart für Parkett-Produktion. Bürkle realisiert in wenigen Monaten eine der modernsten Parkettanlagen in Europa. HOB 6: S. 30-31
- Parkett (1964), Herstellung, Verlegung, Oberflächenbehandlung: Holzwirtschaftliches Jahrbuch Nr. 14, 2. Auflage Holz-Zentralblatt Verlags-GmbH, Stuttgart
- Piller, F. T. (2000), Mass Customization - Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. Gabler 2004
- Pine B. J. II (1993), Making Mass Customization Happen: Strategies for the New Competitive Realities. Planning Review, 1993. 21(5): S. 23-24.
- Pölzleitner W. (1999), IntelliWood – Intelligent Manufacturing of Wood Products Using Color, X-Ray, and Computer Tomography-Based Quality Control, , IST-99 Conference, Helsinki, Finland 1999.
- Potter, A., Breite, R., Naim, M., Vanharanta, H. (2004), The potential for achieving mass customization in primary production supply chains via a unified taxonomy. Production Planning & Control, 2004. 15(4). S.: 472-481.
- ProWood Stiftung. (2004). Presseinformation „Holzbearbeitungstechnologien 2015“. Entnommen am 15.2.2005 von <http://www.prowood.org/PDF/PDF166.pdf>
- Rönnqvist, M. (1995), A method for the cutting stock problem with different qualities. European Journal of Operational Research 83, 1995. S.: 57-68
- Schaper, A.-W., Zukunft der Möbelindustrie: Individuelle Produkte industriell fertigen. Holz-Zentralblatt 55, 2003. S.: 824.
- Schieber H, Schopfloch J, Börste G. (2003), Technik für austragsbezogene Möbelproduktion. Holz-Zentralblatt 55, 2003. S.: 823-824.
- Schöftner, J. (1989), Die Verfärbung von Holz durch Licht, Diplomarbeit, Institut für Holzforschung, Universität für Bodenkultur
- Schwarz H.J (2001), Wie beeinflussen Rundholzeigenschaften die Qualität der daraus erzeugten Produkte. Diplomarbeit, Institut für Holzforschung, Universität für Bodenkultur Wien 2001
- Sigg, A. & Jonas, U. (2003), Der standardisierte Sonderwunsch. Möbelfertigung, 2003. S.: 131.
- Swaminathan Jayashankar M., Enabling Customization Using Standardized Operations. California Management Review, 2001. 43(3): S. 125-135.
- Teischinger A., Wimmer R. (1998), ProHolz Information „Holz aus Österreich“
- Teischinger, A. (2006), Modifiziertes Holz – neue technische Massivhölzer. In : Holzspektrum: Ansichten, Beschreibungen und Vergleichswerte. ProHolz Austria, Wien (ISSN 1680-4252 S. 98-99
- Villareal B., Elizondo G., Villareal Al., Rocha A. (2000), Achieving Agility through Postponement: An Application. In: Second World Conference on POM and 15th Annual POM Conference, 2000. Cancun, Mexico. S. 20.

Normen:

EN 13226: Holzfußböden – Massivholz-Parkettstäbe mit Nut und/oder Feder, Ausgabe vom 1. Mai 2003

- EN 13227: Holzfußböden – Massivholz-Lamparkettprodukte, Ausgabe vom 1. Mai 2003
- EN 13228: Holzfußböden – Massivholz-Overlay-Parkettstäbe einschließlich Parkettblöcke mit einem Verbindungssystem, Ausgabe vom 1. Mai 2003
- EN 13488: Holzfußböden – Mosaikparkettelemente, Ausgabe vom 1. Mai 2003
- EN 13489: Holzfußböden – Mehrschichtparkettelemente, Ausgabe vom 1. Mai 2003
- ÖNORM B 3000 ff: Holzfußböden: ersetzt durch die Normen EN 13226, 13227, 13228, 13488, 13489 seit 1. Mai 2003