**1. Rohstoffauswahl**

* **Getreide:** Die Wahl des Getreides hängt von der Whiskyart ab:
  + **Malted Barley (gemälzte Gerste):** Für Single Malt Whisky.
  + **Andere Getreidearten:** Mais, Roggen oder Weizen für Bourbon oder Grain Whisky.
* **Wasser:** Hochwertiges, mineralarmes Wasser ist entscheidend für Geschmack und Reinheit.
* **Hefe:** Für die Fermentation, die den Zucker im Getreide in Alkohol umwandelt.

**2. Mälzen**

* **Reinigung:** Die Gerste wird von Verunreinigungen gereinigt.
* **Einweichen:** Die Gerste wird in Wasser eingeweicht, bis sie zu keimen beginnt (ca. 2-3 Tage).
* **Keimen:** Das Korn wird ausgebreitet und keimt 4-7 Tage. Dabei wird Stärke in vergärbaren Zucker umgewandelt.
* **Trocknen (Kilning):**
  + Die gekeimte Gerste wird in einem Kiln (Darre) getrocknet.
  + Verwendung von Torf (optional) verleiht dem Whisky ein rauchiges Aroma.

**3. Maischen (Mashing)**

* **Zerkleinern:** Das Malz wird in einer Mühle zu grobem Mehl (Grist) verarbeitet.
* **Wasserzugabe:** In einem Mash Tun (Maischbottich) wird heißes Wasser zugegeben.
  + Zucker wird aus dem Malz extrahiert.
  + Der Vorgang wird mehrfach wiederholt, um maximale Zuckergewinnung zu gewährleisten.
* **Würze (Wort):** Die süße Flüssigkeit, die resultiert, wird abgelassen.

**4. Fermentation (Gärung)**

* **Würze und Hefe:** Die Würze wird in große Gärbottiche (Washbacks) gepumpt und Hefe hinzugefügt.
* **Dauer:** Die Fermentation dauert 48-96 Stunden.
* **Ergebnis:** Es entsteht eine Flüssigkeit mit einem Alkoholgehalt von 6-9 % (Wash), ähnlich wie Bier.

**5. Destillation**

* **Wash Still (erste Destillation):**
  + Der Wash wird in eine Kupferbrennblase (Pot Still) gegeben.
  + Der Alkohol wird durch Erhitzen verdampft und kondensiert.
  + Ergebnis: Ein Rohbrand (Low Wines) mit ca. 20-25 % Alkohol.
* **Spirit Still (zweite Destillation):**
  + Die Low Wines werden erneut destilliert.
  + Es entstehen drei Fraktionen: Vorlauf, Herzstück, Nachlauf.
  + Nur das Herzstück wird für den Whisky verwendet.
  + Ergebnis: Reiner Spirit mit ca. 60-70 % Alkohol.

**6. Reifung**

* **Fässer:** Der Spirit wird in Eichenfässern gelagert, oft ehemalige Bourbon-, Sherry- oder Weinfässer.
* **Ort und Dauer:** Die Reifung dauert mindestens 3 Jahre (gesetzlich vorgeschrieben) und findet in Lagerhäusern statt.
* **Einflüsse:** Temperatur, Feuchtigkeit und Fassart beeinflussen Aroma und Geschmack.

**7. Blending (optional)**

* **Single Malt:** Whisky aus einer Brennerei und aus 100 % gemälzter Gerste.
* **Blended Whisky:** Mischung aus verschiedenen Single Malts und Grain Whiskys.

**8. Verdünnung und Abfüllung**

* **Verdünnen:** Vor der Abfüllung wird der Whisky auf Trinkstärke (meist 40-46 % Alkohol) verdünnt.
* **Filtration:** Kaltfiltration wird manchmal verwendet, um Trübungen zu entfernen (kontrovers, da sie Aromen entfernen kann).
* **Abfüllung:** Der Whisky wird in Flaschen abgefüllt und etikettiert.

**9. Qualitätssicherung**

* **Sensorische Prüfung:** Experten bewerten Geschmack, Aroma und Konsistenz.
* **Laboranalysen:** Kontrolle auf chemische und mikrobiologische Reinheit.

**1. Rohstoffmanagement**

**Prozesszusammenhang:**

* Die Qualität der Rohstoffe beeinflusst jeden weiteren Prozessschritt.
* Versorgung mit frischem Wasser und lokalem Getreide ist essenziell.

**Benötigte Maschinen/Equipment:**

* **Silos:** Für die Lagerung von Getreide.
* **Förderbänder/Schneckenförderer:** Zum Transport des Getreides.
* **Reinigungsanlage:** Für die Entfernung von Fremdkörpern im Getreide.

**Personalbedarf:**

* Rohstoffmanager zur Kontrolle der Qualität.
* Maschinenbediener für Reinigung und Transport.

**1. Layout für eine Produktionsstätte**

**Grundlegende Anforderungen:**

1. **Materialfluss:** Rohstoffe sollen in geradliniger Richtung durch die Anlage geführt werden, um Kreuzkontamination zu vermeiden.
2. **Zonenaufteilung:**
   * Saubere Bereiche (z. B. Gärung und Abfüllung).
   * Rohstoffbereiche (z. B. Silos und Malzhaus).
   * Lagerbereiche (z. B. Fasslagerhäuser).

**Empfohlene Flächenaufteilung:**

1. **Rohstofflager:** Getreidesilos und Malzlager im Eingangsbereich.
2. **Mälzerei:** Nahe am Getreidelager, mit ausreichend Platz für Weichbehälter, Keimbetten und Trocknungseinheiten.
3. **Maisch- und Gärraum:** Zentral platziert, da diese Schritte kontinuierlich mit Wasser und Malz versorgt werden müssen.
4. **Destillationseinheit:** Nahe dem Gärraum, um den Transport des Wash (vergorene Flüssigkeit) zu minimieren.
5. **Lagerhäuser:** Möglichst getrennt und klimakontrolliert, idealerweise mit Fasslagerung auf mehreren Ebenen.
6. **Abfüllung und Versand:** Nahe dem Ausgang, um logistische Wege zu verkürzen.

**2. Handlungsanweisung für eine vollautomatisierte Produktion**

**Ziel:** Minimierung menschlicher Eingriffe, Optimierung der Effizienz und Skalierbarkeit.

**Empfohlene Maschinen und Automatisierungssysteme**

1. **Rohstoffhandling:**
   * Automatische Fördersysteme für Getreide (z. B. Schneckenförderer oder pneumatische Systeme).
   * Sensorische Überwachungssysteme für Feuchtigkeit, Temperatur und Sauberkeit.
2. **Mälzen:**
   * Vollautomatische Weichbehälter und Keimbetten mit integrierter Temperatur- und Feuchtigkeitssteuerung.
   * Robotisierte Wenderarme für gleichmäßiges Keimen.
3. **Maischen und Gärung:**
   * Automatisierte Mash Tuns mit Steuerung der Temperatur und Rührgeschwindigkeit.
   * CIP-Systeme (Clean-in-Place) zur Selbstreinigung.
   * Gärbehälter mit Fermentationssensoren und automatischer CO₂-Abfuhr.
4. **Destillation:**
   * Vollautomatisierte Pot Stills oder kontinuierliche Destillationskolonnen mit Steuerung für Vorlauf, Herzstück und Nachlauf.
   * Echtzeit-Alkoholmesser.
5. **Reifung:**
   * Automatisierte Lagerungssysteme, ggf. mit Robotern für die Fassbewegung.
   * Feuchtigkeits- und Temperaturregelung in den Lagerhäusern.
6. **Abfüllung:**
   * Automatisierte Abfülllinien mit Etikettiermaschinen, Qualitätskontrolle und Verpackungsrobotern.

**Software und Steuerung:**

* SCADA-System (Supervisory Control and Data Acquisition) für die zentrale Überwachung und Steuerung.
* ERP-Systeme (Enterprise Resource Planning) zur Produktionsplanung, Bestandsführung und Logistik.

**Personalbedarf:**

* **Minimal:**
  + Ingenieure und Techniker für Wartung.
  + Software- und Automatisierungsspezialisten.
  + Qualitätsprüfer für Endprodukte.

**3. Handlungsanweisung für eine von Menschen bearbeitete Produktion**

**Ziel:** Traditionelle Handwerkskunst betonen, Flexibilität erhöhen und lokale Arbeitskräfte einbinden.

**Empfohlene Prozesse und Ausstattung**

1. **Rohstoffhandling:**
   * Handbediente Transportmittel wie Sackkarren und Schaufeln.
   * Kontrolle der Getreidequalität durch manuelle Probenahme.
2. **Mälzen:**
   * Manuelle Bedienung der Weichbehälter und Keimbetten.
   * Personal für das regelmäßige Wenden des Malzes.
   * Direkte Überwachung des Trocknungsprozesses.
3. **Maischen und Gärung:**
   * Bedienung der Mash Tuns und Gärbehälter durch erfahrene Mitarbeiter.
   * Einsatz von Thermometern und Hydrometern zur manuellen Kontrolle.
4. **Destillation:**
   * Bedienung der Pot Stills durch Destillateure, die die Schnitte (Vorlauf, Herzstück, Nachlauf) visuell und sensorisch beurteilen.
   * Haptische Kontrolle der Alkoholqualität während der Destillation.
5. **Reifung:**
   * Fassbefüllung und -bewegung per Hand.
   * Handarbeit bei der Kontrolle der Lagerbedingungen (z. B. Luftfeuchtigkeit messen und Fenster öffnen).
6. **Abfüllung:**
   * Manuelle Abfüllung, Verkorkung und Etikettierung.
   * Sichtprüfung der Flaschen durch Mitarbeiter.

**Software und Steuerung:**

* Minimal: Verwendung von Tabellenkalkulationssoftware oder papierbasierte Planung.

**Personalbedarf:**

* **Hoher Bedarf:**
  + Malzmeister, Maischmeister und Destillateure mit Erfahrung.
  + Fassbinder und Lagermitarbeiter.
  + Verpackungspersonal.

**4. Vergleich: Vollautomatisierung vs. Handwerk**

| **Aspekt** | **Vollautomatisiert** | **Handarbeit** |
| --- | --- | --- |
| **Produktionsvolumen** | Hoch | Gering bis mittel |
| **Flexibilität** | Gering, auf Standardabläufe ausgerichtet | Hoch, individuelle Anpassungen möglich |
| **Qualitätssicherung** | Sensor- und softwaregestützt | Sensorisch durch erfahrenes Personal |
| **Kosten** | Hohe Anfangsinvestitionen, niedrige Betriebskosten | Niedrige Anfangsinvestitionen, hohe Personalkosten |
| **Markenwert** | Modern, effizient | Traditionell, handwerklich |

**Zusammenfassende Hinweise**

Für ein Simulationsmodell sollten folgende Aspekte detailliert berücksichtigt werden:

1. **Ressourcenzuweisung:** Material- und Energiebedarf je Prozessschritt.
2. **Prozesszeiten:** Dauer jedes Schritts (z. B. Gärung: 48–96 Stunden).
3. **Flächenbedarf:** Größe der Maschinen und Personalbewegungen.
4. **Abhängigkeiten:** Wie Schritte voneinander abhängen (z. B. Mälzen beeinflusst Maischen direkt).
5. **Szenarien:** Simulieren Sie die Unterschiede zwischen automatisierten und manuellen Prozessen, um wirtschaftliche und qualitative Vorteile zu bewerten.

**1. Rohstofflagerung und Vorbereitung**

**Material:**

* **Getreide:** Typischer Tagesbedarf: 10 Tonnen für eine mittlere Anlage.
* **Wasser:** Frisches, mineralarmes Wasser (ca. 10 Liter pro kg Getreide).
* **Hefe:** Ca. 2 kg pro Tonne Maische.

**Gerätschaft:**

* **Silos (10 Tonnen Kapazität):** Für die Getreidelagerung.
* **Fördersysteme:** Schneckenförderer oder pneumatische Förderanlagen.
* **Reinigungsanlage:** Kapazität von 10 Tonnen/Stunde.

**Prozesszeit:**

* Reinigung und Transport ins Malzhaus: 1 Stunde pro Charge (ca. 1,5 Tonnen/Charge).

**Durchsatz:**

* Verarbeitungskapazität auf kontinuierlichen Betrieb optimiert (10 Stunden Betrieb = 10 Tonnen).

**Engpasspotenzial:**

* Reinigungskapazität ist kritischer Punkt; mögliche Skalierung durch parallele Reinigungsanlagen.

**2. Mälzen**

**Material:**

* **Gerste:** Ca. 1,5 Tonnen pro Charge.
* **Wasser:** Ca. 2.000 Liter pro Charge.

**Gerätschaft:**

* **Weichbehälter:** 2 Behälter mit je 5 Tonnen Kapazität.
* **Keimbetten:** Fläche von ca. 50 m² pro Charge.
* **Trocknungsanlage (Kiln):** Kapazität von 1,5 Tonnen/Charge.

**Prozesszeit:**

* **Einweichen:** 2 Tage (mehrfaches Wässern).
* **Keimen:** 4-6 Tage.
* **Trocknen:** 1 Tag.

**Durchsatz:**

* Bei 2 parallelen Weichbehältern: 1 Charge (1,5 Tonnen) pro Tag.

**Engpasspotenzial:**

* Der Malzprozess benötigt mehrere Tage, weshalb Keimbetten und Kiln schnell zum Engpass werden können.

**Ausgleich:**

* Arbeiten in Batches mit täglicher Überlappung der Schritte.

**3. Maischen**

**Material:**

* **Malz:** 1,5 Tonnen pro Charge.
* **Wasser:** Ca. 6.000 Liter/Charge.

**Gerätschaft:**

* **Maischbottich (Mash Tun):** Kapazität: 7.000 Liter.
* **Fördersystem:** Für Malztransport.

**Prozesszeit:**

* 6 Stunden pro Charge (3 Zyklen à 2 Stunden).

**Durchsatz:**

* 4 Chargen/Tag = 6 Tonnen Malz/Tag.

**Engpasspotenzial:**

* Begrenzte Kapazität des Maischbottichs; kontinuierlicher Betrieb reduziert Stillstand.

**Ausgleich:**

* Nutzung mehrerer Mash Tuns oder größere Kapazitäten.

**4. Gärung**

**Material:**

* **Würze:** Ca. 6.000 Liter pro Charge.
* **Hefe:** 2 kg pro Charge.

**Gerätschaft:**

* **Gärbehälter (Washbacks):** 6 Tanks mit je 7.000 Liter Kapazität.
* **Temperaturkontrolleinheit.**

**Prozesszeit:**

* 48-96 Stunden (2-4 Tage).

**Durchsatz:**

* Paralleler Betrieb erlaubt Verarbeitung von 4 Chargen gleichzeitig (24.000 Liter in Gärung).

**Engpasspotenzial:**

* Gärung dauert mehrere Tage, wodurch die Anzahl der Washbacks die Produktionskapazität limitiert.

**Ausgleich:**

* Nutzung zusätzlicher Washbacks oder kürzere Fermentationszyklen (bei erhöhtem Hefeeinsatz).

**5. Destillation**

**Material:**

* **Wash:** 6.000 Liter pro Charge.

**Gerätschaft:**

* **Pot Stills (Wash Still und Spirit Still):**
  + Wash Still: Kapazität von 6.000 Litern.
  + Spirit Still: Kapazität von 4.000 Litern.
* **Kondensatoren.**

**Prozesszeit:**

* **Erste Destillation:** 6 Stunden.
* **Zweite Destillation:** 4 Stunden.

**Durchsatz:**

* Max. 2 Chargen/Tag = 12.000 Liter Wash → 1.200 Liter Rohspiritus.

**Engpasspotenzial:**

* Destillation ist zeitintensiv und volumenbegrenzt.

**Ausgleich:**

* Mehrere Pot Stills in Parallelbetrieb.

**6. Reifung**

**Material:**

* **Spiritus:** Ca. 1.200 Liter pro Charge.
* **Fässer:** 10 Fässer à 200 Liter.

**Gerätschaft:**

* **Fasslager:** Klimakontrollierte Lagerhäuser mit Regalsystemen.

**Prozesszeit:**

* Mindestens 3 Jahre (gesetzlich vorgeschrieben).

**Durchsatz:**

* 1.200 Liter/Tag → ca. 4.000 Fässer/Jahr.

**Engpasspotenzial:**

* Fasslagerkapazität und lange Reifungszeit sind potenzielle Limitierungen.

**Ausgleich:**

* Erweiterung der Lagerhäuser.

**7. Abfüllung und Verpackung**

**Material:**

* **Fertig gereifter Whisky:** Ca. 1.000 Liter/Tag.
* **Flaschen:** 2.000 Flaschen à 0,5 Liter.

**Gerätschaft:**

* **Abfüllanlage:** Kapazität von 2.000 Flaschen/Schicht.
* **Etikettiermaschine.**
* **Verpackungsstation.**

**Prozesszeit:**

* Abfüllung und Verpackung: 4-6 Stunden.

**Durchsatz:**

* 2.000 Flaschen/Tag.

**Engpasspotenzial:**

* Abfüllgeschwindigkeit bei höherem Volumen.

**Ausgleich:**

* Erweiterung der Abfülllinie.

**Zusammenhängender Produktionsfluss**

1. **Kapazitätsausgleich:**
   * Synchronisierung von Mälzen und Gärung, da diese die längsten Prozesszeiten haben.
   * Einsatz von Puffertanks für die Würze zwischen Maischen und Gärung.
2. **Parallelarbeit:**
   * Mehrere Washbacks und Pot Stills, um parallele Verarbeitung zu gewährleisten.
3. **Materialpuffer:**
   * Pufferspeicher für Malz und Würze.

**Wichtige Engpässe im Layout**

1. **Gärung:** Längste Prozesszeit und volumengebundener Flaschenhals.
2. **Reifung:** Langfristige Lagerung und große Flächenanforderung.
3. **Destillation:** Zeit- und kapazitätsintensiv.

**Empfehlung zur Modellierung in Plant Simulation**

1. **Prozesszeiten einpflegen:** Exakte Prozesszeiten (z. B. 6 Stunden Destillation) für jeden Schritt eintragen.
2. **Kapazitäten:** Begrenzung der Kapazitäten pro Tank, Still und Lagerraum.
3. **Materialflüsse:** Verwenden Sie Materialflussobjekte für Getreide, Wasser, Würze, Spiritus und fertigen Whisky.
4. **Puffersysteme:** Pufferspeicher zwischen Maischen, Gärung und Destillation einfügen.
5. **Ressourcenoptimierung:** Simulieren Sie verschiedene Szenarien für Engpassmanagement (z. B. zusätzliche Washbacks).
6. **Zonen:** Unterschiedliche Produktionsbereiche (z. B. Lager, Destillation) als Segmente einrichten.

