

4 Opstellen van een bewegingsplan (1)

Bewegingen spelen een belangrijke rol in een machine. Ze zijn nodig zowel om bewerkingen aan een product uit te voeren als om producten tussen de bewerkingsstations te verplaatsen. Door een bewegingsplan op te stellen wordt de volgorde van alle handelingen, en daarmee de werkwijze van de machine, bepaald. Voor het opwekken van een beweging wordt meestal gebruik gemaakt van een aandrijfmotor, al dan niet gekoppeld aan een mechanisme (bewegingsgenerator). Voor het concipiëren van de gehele machine kunnen diverse soorten bewegingsplannen gebruikt worden. Deze zijn gericht op het soort machineconcept, dat beoogd wordt. Een hulpmiddel bij het opstellen van een bewegingsplan is te vinden op site: www.machinemotion.com.

4.1 Soorten bewegingen

Bewegen is verplaatsen in de *tijd*. De beschouwing wordt hier beperkt tot bewegingen met één component (vrijheidsgraad). Voor iedere beweging is dan één aandrijfmotor nodig om deze te doen plaatsvinden. Bewegingen kunnen op diverse manieren onderscheiden worden, bijvoorbeeld:

rotatie β t.o.v. het gestel (machineframe, vaste wereld), of

- translatie s t.o.v. het gestel, of
- rotatie of translatie t.o.v. een ander bewegend machinedeel.

bewegingsverloop		karakteristiek	symbool
<u>doorlopend</u> altijd in dezelfde bewegingsrichting	zonder rust	β s	
	met rust	β s	
<u>doorlopend met tussendoor gedeeltelijke terugloop (pelgrims-stap)</u>	zonder rust	β s	
	met rust	β s	
<u>wisselend</u> b.v. slingeren, oscilleren, heen- en weer-gaand	zonder rust	β s	
	met rust	β s	

Figuur 4.1.1 Soorten bewegingen

Een dergelijk bewegingsverloop kan, zie figuur 4.1.1, met een enkelvoudige functie $\beta(t)$ of $s(t)$ beschreven worden. Deze functies kunnen zijn:

- éénparig (lineaire functie, bijv. $s(t) = s_0 + c \cdot t$), of
- oneenparig (niet-lineaire functie), deze wordt verder onderscheiden in:
 - doorlopend of wisselend, en
 - periodiek of niet-periodiek.

Bij de oneenparige bewegingen kan nader gespecificeerd worden of er een rust voorkomt. Dit is bijvoorbeeld van belang als een product een korte of langere tijd moet stilstaan voor een bepaalde bewerkingsmachine. Er bestaan toepassingen met een rust in een uiterste stand, in beide uiterste standen en in een tussenstand. Dit laatste heet een tussenrust. Bij een periodieke beweging is sprake van een cyclustijd. Ook bij een doorlopende beweging spreekt men van een cyclus, maar dan wordt het product steeds een stap verder gezet.

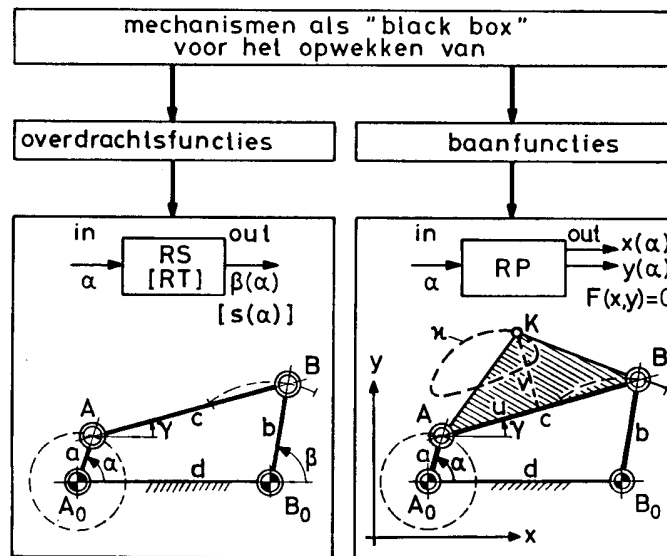
De aard van elke soort beweging wordt met symbolen aangegeven, zie figuur 4.1.1 rechter kolom. Deze symbolen zijn ontleend aan ISO 3952/1. De getekende verlopen geven hier alleen de karakteristieke verschillen weer en hebben niet de bedoeling een fysisch correcte beweging te schetsen.

4.2 Overdrachtsfuncties en tijdfuncties

De in het vorige deelhoofdstuk genoemde soorten bewegingen kunnen in de praktijk soms direct met een aandrijfmotor (zonder mechanisme) worden gemaakt. Voor de hand ligt bijvoorbeeld:

- een doorlopende, eenparige beweging: aangedreven met bijvoorbeeld een elektromotor (eventueel met regeling om het toerental constant te houden);
- wisselend en translierend: bijvoorbeeld met een luchtcilinder of een hydraulische cilinder.

Vooral bij periodieke bewegingen wordt vaak gebruik gemaakt van een mechanisme met een rondgaande krukas, die dan door een roterende motor wordt aangedreven.



Figuur 4.2. 1 Soorten overdrachtsfuncties en mechanismen

Ook bij mechanismen onderscheidt men de soorten bewegingsverlopen zoals in figuur 4.1.1 beschreven, maar nu voor de *overdrachtsfunctie* van het mechanisme. Dit is de meetkundige relatie tussen de (hoek-) positie van de ingaande bewegingsgrootte, meestal de hoek van de krukas, en de (hoek-) positie van het te bewegen object. In de voorgaande figuur zijn de functies $\beta(\alpha)$ en $h(\alpha)$ voorbeelden van overdrachtsfuncties, die door mechanismen worden gegenereerd. De overdrachtsfunctie van een mechanisme geeft weer de verplaatsing van de uitgaande schakel (bijv. β) als functie van de verplaatsing van de ingaande schakel (bijvoorbeeld α), waarbij $\beta = \beta(\alpha)$. Hierin ontbreekt de tijd t .

De overdrachtsfunctie bepaalt de standen van een translierende of roterende uitgaande schakel. De nulde orde overdrachtsfunctie $\beta(\alpha)$ kan meerder malen worden gedifferentieerd naar α waarna wordt gesproken over de eerste-, tweede- etc. orde overdrachtsfunctie.

Bij deze typering gebruikt men een der letters R_{oterend} , $S_{\text{lingerend}}$, $T_{\text{ranslerend}}$ en U_{onbepert} voor ieder der in het gestel gelagerde schakels. Zo spreekt men bij een wisselende beweging van een RS- of RT-functiegenerator.

In eerste instantie lijkt het vanzelfsprekend om, voor een gewenst type bewegingsverloop, een mechanisme met hetzelfde type overdrachtsfunctie te kiezen. Toch is het nuttig om dit wat preciezer te beschouwen.

Als het mechanisme, met ingaande bewegingsgrootte α , wordt aangedreven door een motor, zal niet alleen α , maar het gehele mechanisme (waarin uitgaande grootheden als β of h) in de tijd bewegen. Dit wordt uitgedrukt met de samengestelde functie:

$$\beta = \beta\{\alpha(t)\}$$

Nu is de (hoek-) snelheid de afgeleide naar de tijd, dus:

$$\dot{\beta} = \frac{d\beta}{dt} = \frac{d\beta}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = \beta' \cdot \dot{\alpha}$$

Hierin is $\frac{d\beta}{d\alpha} = \beta'$ de *eerste-orde overdrachtsfunctie* en $\frac{d\alpha}{dt} = \dot{\alpha}$ de hoeksnelheid van de ingaande schakel.

De hoekversnelling $\ddot{\beta}$ wordt afgeleid door de bovenstaande formule naar de tijd te differentiëren:

$$\ddot{\beta} = \frac{d^2\beta}{dt^2} = \frac{d^2\beta}{d\alpha^2} \cdot \left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2 + \frac{d\beta}{d\alpha} \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \beta'' \cdot \dot{\alpha}^2 + \beta' \cdot \ddot{\alpha}$$

Merk op, dat de afgeleiden van de overdrachtsfuncties in het mechanisme zijn vastgelegd. Zij bepalen *samen* met de tijd-afgeleiden van de aandrijving de snelheid en de versnelling van de uitgaande schakel. Bij éénparige aandrijving (hier dus $\dot{\alpha} = \text{constant}$ en $\ddot{\alpha} = 0$) lijkt het verschil met de eerste resp. de tweede orde overdrachtsfunctie onbelangrijk, nl. een constante factor $\dot{\alpha}$ respectievelijk $\dot{\alpha}^2$.

Er zijn echter ook situaties, waarin het wel degelijk belangrijk is om overdrachtsfuncties en tijdfuncties goed uit elkaar te houden, bijvoorbeeld:

- Start-stop gedrag van de motor met het mechanisme ($\dot{\alpha} = 0$, $\ddot{\alpha} \neq 0$), dan wordt $\ddot{\beta} = \beta' \cdot \ddot{\alpha}$ en heeft de tweede orde zelfs in het geheel niets te maken met de versnelling.
- Oneenparige aandrijving van het mechanisme. Men zou bijvoorbeeld een RR-functiegenerator met een wisselende aandrijfbeweging kunnen aandrijven, dan krijgt de uitgaande schakel ook een wisselende beweging.
- Dynamische verschijnselen zoals een *stoot* of een *ruk* (een stoot is een sprong in de snelheid, een ruk is een sprong in de versnelling). Bij "goede" mechanismen zijn de overdrachtsfuncties vloeiende, differentieerbare functies. Zij zijn typisch geschikt voor stoot- en rukvrije bewegingen. Daarom worden zij vaak toegepast als snelle bewegingen gewenst zijn (hoog toerental, korte cyclustijd, hoge productiviteit). Als er echter toch een sprong in de tweede orde overdrachtsfunctie bestaat, zoals bij het voorbeeld van het meenemen van een product in figuur 4.3.2, dan ontstaat er vanzelfsprekend ook een sprong in de versnelling (hier van het product).

Als een aantal bewegingen in de machine van dezelfde aandrijfmotor wordt afgeleid, ligt het voor de hand een bewegingsplan te maken als *diagram van overdrachtsfuncties*. De bewegingen heten dan *star mechanisch gekoppeld*. Men spreekt ook wel van *gedwongen beweging*. Karakteristiek voor een diagram van overdrachtsfuncties is dat de bewegingen gelijktijdig kunnen plaatsvinden (voor zover het beweringsproces dit toelaat). De positie van de bewegende onderdelen is immers op elk moment precies bepaald, waardoor de volgorde van alle bewegingen impliciet ook vastligt. Een klassiek voorbeeld is de verbrandingsmotor. Niet alleen de beweging van de zuigers, maak ook de beweging van de kleppen (via de nokkenas, met een constante overbrenging star met de krukas verbonden) is een gedwongen beweging.

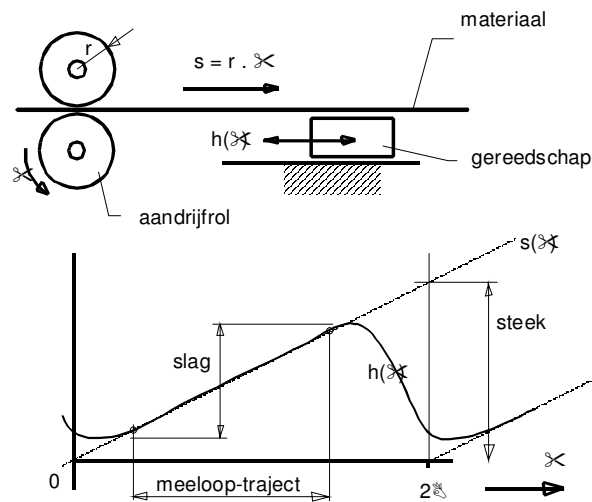
4.3 Voorbeelden van een diagram van overdrachtsfuncties

Voorbeeld 1: bewerking aan continu bewegend materiaal

Stel dat bij eenparig bewegend bandmateriaal, bijvoorbeeld papier of blik, een bewerking "meelopen" moet worden uitgevoerd. Het gereedschap moet dan op een slede staan, die een wisselende beweging uitvoert. Gedurende enige tijd, lang genoeg voor de bewerking, moet de snelheid van band en slede gelijk zijn. Omdat beide bewegingen van dezelfde aandrijfmotor worden afgeleid, kan het bewegingsplan goed met een diagram van overdrachtsfuncties uitgedrukt worden.

De motor kan bijvoorbeeld direct de aandrijfrol (straal r) van het bandmateriaal laten draaien. De overdrachtsfunctie van de band is dan: $s(\alpha) = r \cdot \alpha + \text{constante}$

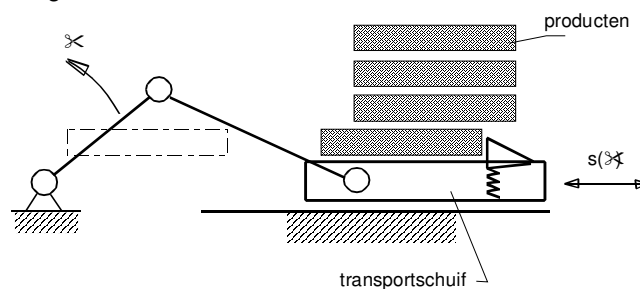
Deze functie kan samen met de overdrachtsfunctie van het mechanisme in een diagram getekend worden, zie figuur 4.3.1. Hierin is te herkennen: het *meelooptraject*, de *slag* van het mechanisme en de *steek* (op de band) van de bewerking.



Figuur 4.3.1 Bewerking tijdens meelopen beweging

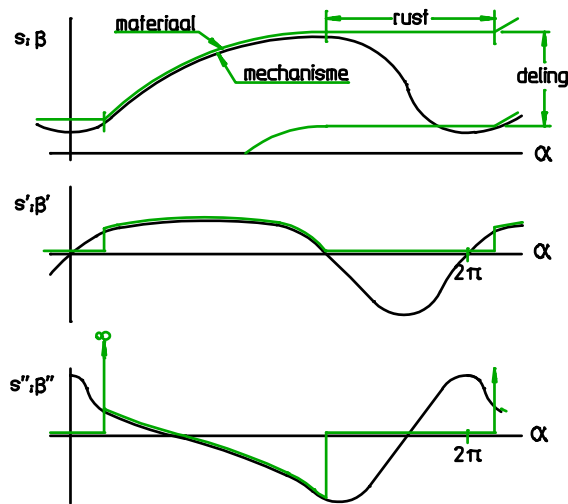
Voorbeeld 2: bewerking aan discontinu bewegende producten

Het product wordt nu steeds opgeschoven naar het volgende bewerkingsstation; het staat stil tijdens bewerken. Het opschuiven gebeurt met een transportschuif die zelf een wisselende beweging uitvoert. Deze schuif neemt het product mee tijdens de heengaande beweging, maar niet tijdens de teruggaande beweging. Dit kan bijvoorbeeld bereikt worden met zgn. verende vingers, die tijdens de teruggaande beweging onder het product doorglijden, zie figuur 4.3.2.



Figuur 4.3.2 Doorlopende transportbeweging met rust

Omdat het product *gedwongen* de heengaande beweging van de schuif volgt, kan de beweging van het product ook zinvol samen met de overdrachtsfunctie van de schuif getekend worden, zie figuur 4.3.3.



Figuur 4.3.3 Overdrachtsfuncties van transportbeweging "doorlopend met rust"

Bij de werkwijze van de transporteur zijn overigens wel enkele opmerkingen te plaatsen:

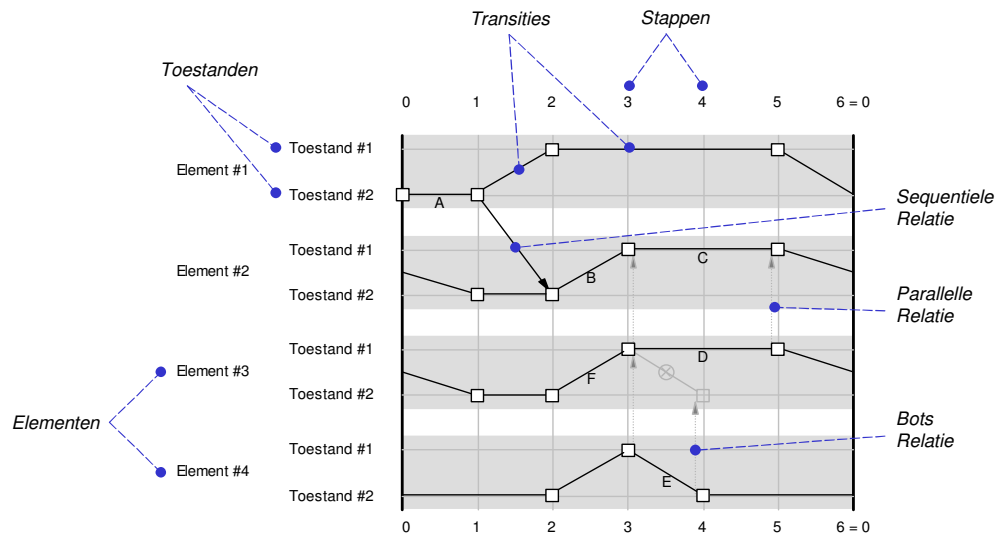
- De aandrijving $\alpha(t)$ is eenparig gedacht. Het start- en stopgedrag blijven hier buiten beschouwing.
- Tijdens versnellen van het product ($\ddot{s} > 0$, lees hiervoor $s'' > 0$), ligt het product gegarandeerd tegen de vinger. Vertragen moet echter door de wrijving tussen product en ondergrond plaatsvinden. Bij eenparige aandrijving is $\ddot{s} = s'' \cdot \dot{\alpha}^2$. Door de hoeksnelheid voldoende klein te houden kan voorkomen worden, dat het product "doorschiet". Ook het kiezen van een mechanisme met een lage waarde van s'' tijdens vertragen kan dit probleem voorkomen.
- In de praktijk zal de verende vinger iets voorbij het product moeten teruggaan. Vanwege het doorlopen van de speling zal een (kleine) botsing ontstaan. Theoretisch is bij een dergelijke snelheidssprong de versnelling (en dus ook de weergave in het diagram van de tweede orde overdrachtsfunctie) oneindig. Bij het opstellen van een dergelijk bewegingsplan moet blijken, dat de botsing klein is, waardoor het transport op acceptabele wijze plaatsvindt.
- Het product is, tijdens de teruggaande slag van de schuif, slechts door de wrijving gepositioneerd. Er zal wellicht nog een extra voorziening (klem o.i.d.) nodig zijn. De beweging van een dergelijke klem kan zinvol in het bewegingsplan opgenomen worden.

4.4 Stap Toestand Diagram

Bij veel machines bestaat de werkwijze uit het uitvoeren van bepaalde deelhandelingen. Sommige van deze deelhandelingen moeten na elkaar en andere juist tegelijkertijd uitgevoerd worden. Voor een correcte werking van de machine zal het ook voorkomen dat, in verband met botsingen tussen de onderdelen, bepaalde handelingen juist niet tegelijkertijd op mogen treden. Bij een machine met een typische volgorde van bewerkingen en bewegingen kan men aparte aandrijfmotoren voor elke beweging toepassen, bijvoorbeeld luchtcilinders. Kenmerkend is in ieder geval dat de aandrijving met start/stop gebeurt. Hiervoor is een *volgordebesturing* van de aandrijvingen nodig. Vaak is het voldoende om de eind-of ruststanden van het te bewegen object, of het voltooiën van de bewerking, te detecteren.

Een middel om de bewegingen van de onderdelen op elkaar af te stemmen is het stap-toestand-diagram (STD) (Roode; 1999).

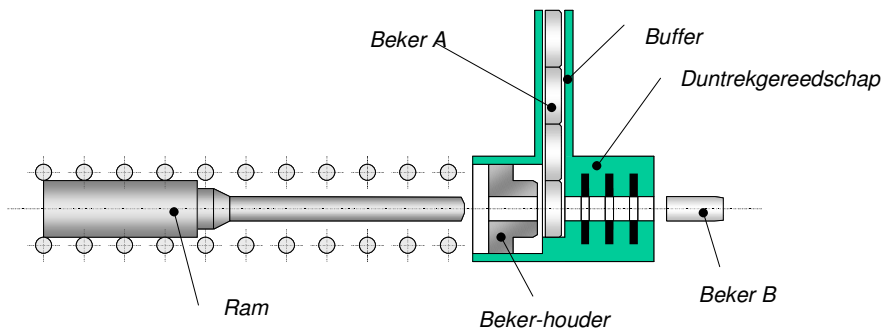
Een Stap Toestand Diagram (Engels: State Transition Diagram) beschrijft de toestand van een machine in de tijd. Een STD bestaat uit (bewegende) elementen, stappen en relaties tussen de elementen. In figuur 4.4.1 is een voorbeeld gegeven van een STD.



Figuur 4.4.1 Stap-toestand diagram

4.4.1 Elementen

Een **element** beschrijft een (bewegend) deel van een machine door middel van toestanden en transitie (bewegingen). Voorbeelden van elementen zijn de ram, buffer en de bekerhouder uit figuur 4.4.2. Vaak komt een onderdeel van de machine overeen met een element.

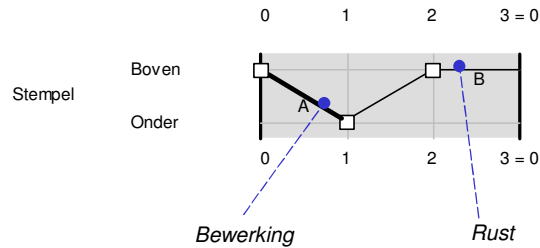


Figuur 4.4.2 Voorbeeld: Machine voor het duntrekken van bekere

Zoals te zien is zal elk element een bepaalde beweging uitvoeren. Deze beweging kan beschreven worden door toestanden en transities. Een **toestand** beschrijft een specifieke positie dat een element kan hebben. Voorbeelden zijn “op”, “neer”, “links”, “rechts”, “open”, “dicht” enzovoorts. Een **transitie** geeft aan dat een element van de ene toestand naar een andere verandert, bijvoorbeeld “boven $\Rightarrow$ onder”. Een transitie komt overeen met een rust als de toestand gedurende de transitie niet verandert (zie transitie B in onderstaande figuur).

Een bepaalde transitie kan overeen komen met een bewerking op het product. Zo zal in figuur 4.4.3 het van boven naar onder bewegen van de stempel ervoor zorgen dat het product gestempeld wordt. Een dergelijke transitie wordt aangeduid als *functionele transitie*. Aan het einde van de totale beweging komt het element weer in zijn begintoestand terug en is de cyclus voltooid.

In figuur 4.4.3 is een voorbeeld gegeven van een STD voor één enkel bewegend element.



Figuur 4.43. Weergave van één element in een STD

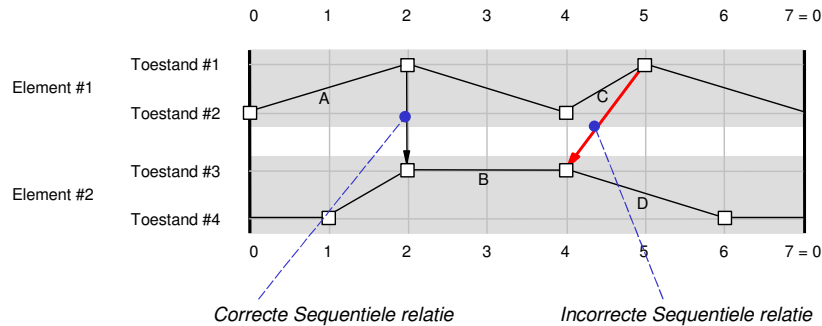
Met een STD kan de beweging van een onderdeel schematisch weergegeven worden. In plaats van de beweging continu in de tijd voor te stellen, zoals $y = f(t)$, wordt de vereenvoudiging gemaakt dat de beweging uit delen bestaat en dat hij stapsgewijs verandert. Verder wordt er niets gezegd over de lengte van de beweging. De reden hiervoor is dat een STD vaak in de beginfase van het ontwerptraject wordt opgesteld. In deze fase is echter weinig bekend over de precieze lengte en duur van de beweging. Om dan toch een uitspraak te kunnen doen over de beweging, wordt de vereenvoudigde voorstelling uit het STD toegepast. Men moet zich er echter goed van bewust zijn dat, ook al worden bewegingen als rechte lijnen voorgesteld, deze in het uiteindelijke ontwerp een enigszins andere vorm kunnen hebben. Dit wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 4.5.

4.4.2 Relaties tussen transities

Voor het goed functioneren van de machine dienen de transities (bewegingen) van de verschillende elementen op elkaar afgestemd te worden. Hiertoe kunnen de volgende relaties tussen transities worden gedefinieerd: sequentiële-, parallelle- en botsrelaties. Voor het goed functioneren van de machine dienen deze relaties correct te zijn.

4.4.2.1 Sequentiële relaties

Een **Sequentiële Relatie** geeft aan dat een bepaalde transitie pas op mag treden nadat een andere transitie voltooid is. In feite wordt hiermee de volgorde van bewerkingen vastgelegd. In figuur 4.4.4 is voor de correcte sequentiële relatie aangegeven dat bewegingsdeel A voor het bewegingsdeel B plaats moet vinden. Indien de relatie terug in de tijd wijst, is hij uiteraard incorrect.

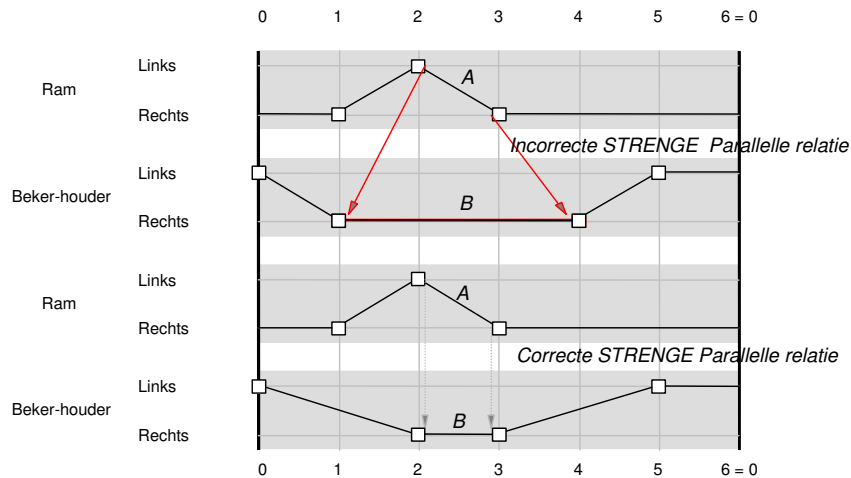


Figuur 4.4.4 Correctheid van een Sequentiële Relatie

4.4.2.2 Parallelle relaties

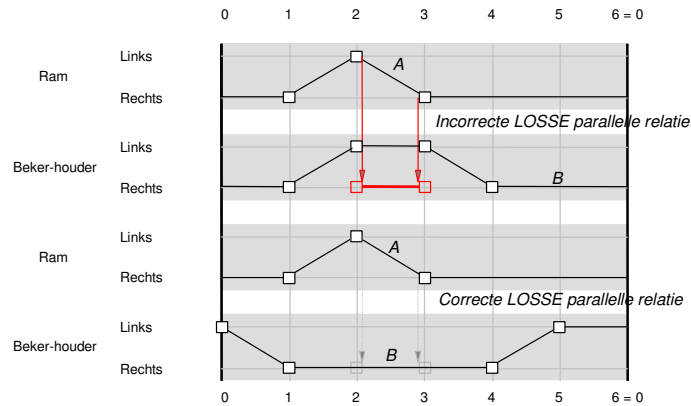
Een **Parallelle Relatie** geeft aan dat, terwijl een element een bepaalde transitie doorloopt, een andere element een bepaalde transitie moet hebben. Dit is vaak het geval als twee elementen “samenwerken” om een bepaalde bewerking op het product te realiseren. De parallelle relatie komt voor in twee varianten: “strenge” en “losse” parallelle relaties.

Een **strenge parallelle relatie** schrijft voor dat beide transitities precies op hetzelfde tijdstip moeten beginnen en eindigen, oftewel: de start én de duur van de transities moet gelijk zijn.



Figuur 4.4.5 Correctheid van een strenge parallelle relatie

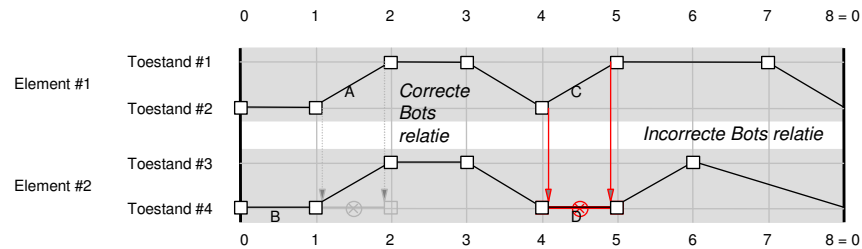
Een **losse parallelle relatie** definieert dat de ene transitie binnen de andere transitie moet vallen.



Figuur 4.4.6 Correctheid van een Losse Parallelle Relatie

4.4.2.3 Botsrelaties

Een **Botsrelatie** geeft aan dat twee elementen zullen botsen als de transities tegelijkertijd optreden. Figuur 4.4.7 geeft een voorbeeld van een correcte en een incorrecte botsrelatie.

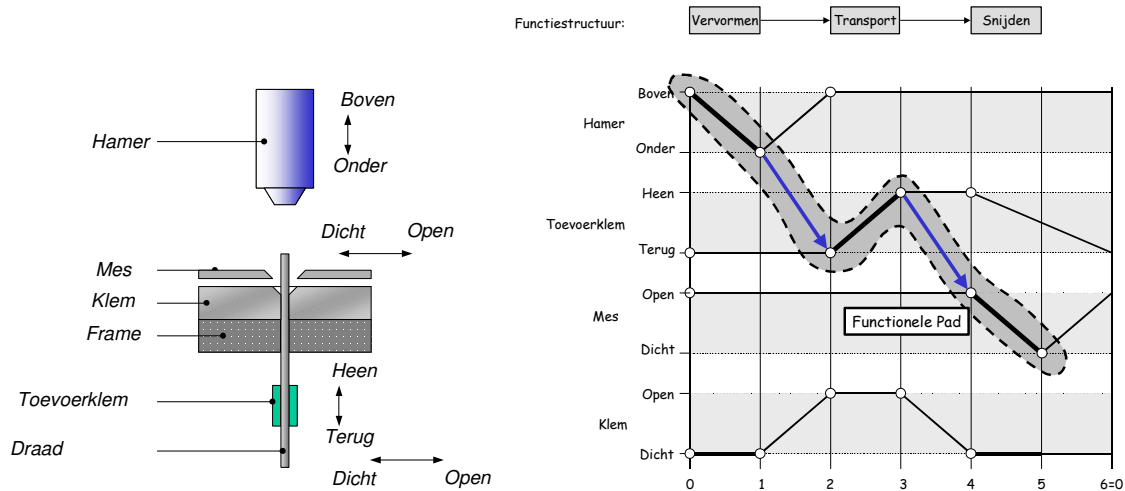


Figuur 4.4.7 Correctheid van een Bots Indicator

4.4.3 Het Functionele en Kritieke pad

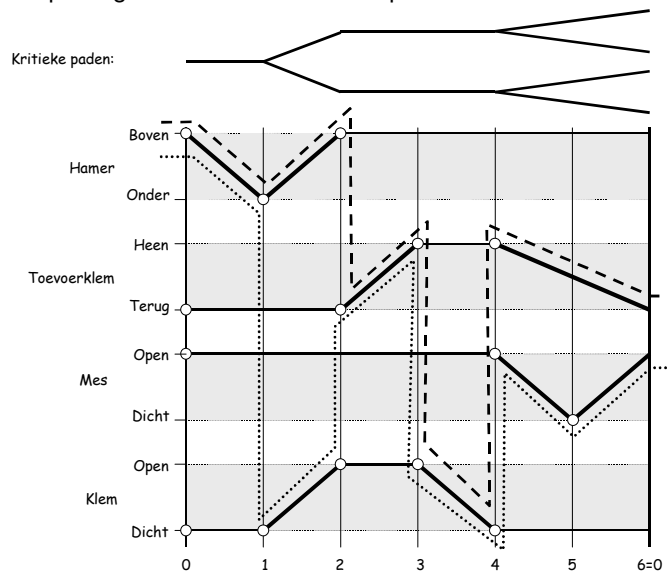
Binnen een STD zijn twee belangrijke paden aan te geven: het functionele pad en het kritieke pad.

Het **functionele pad** geeft de sequentie van bewerkingen aan (figuur 4.4.8). Feitelijk komt dit overeen met de functiestructuur van de machine.



Figuur 4.4.8 STD voor de spijkermachine waarin het functionele pad is aangegeven

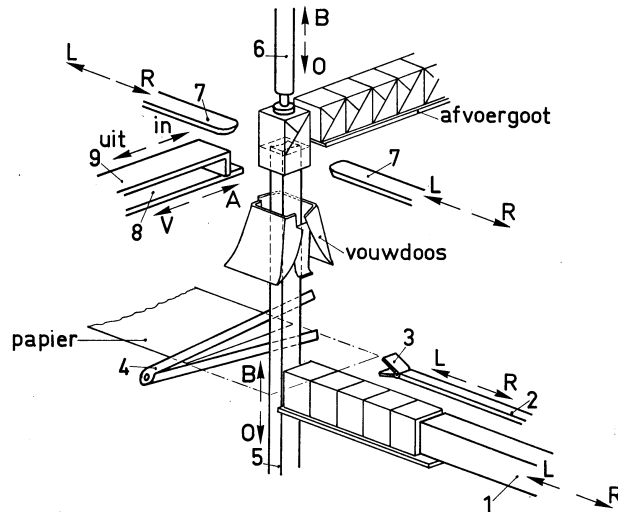
Het **kritieke pad** geeft de sequentie van transitities aan die bepalend zijn voor de cyclustijd van de productiemachine. Het wordt verkregen door per stap te kijken welke transitie de tijdsduur van de stap bepaald. Vaak bestaan er per stap meerdere transities die bepalend kunnen zijn. In dat geval splitst het kritieke pad zich in meerdere kritieke paden en zal in het tijd-toestand diagram bepaald moeten welk van deze paden het meest tijdskritiek is. Het zal duidelijk zijn dat het kritieke pad zo kort mogelijk moet zijn. In figuur 4.4.9 worden twee kritieke paden voor een spijkermachine getoond. In totaal zijn er vier kritieke paden. Elke van deze paden begint bij "Hamer – Boven". Vervolgens splitst het pad op stap 1 en nogmaals op stap 4. Door deze twee splitsingen ontstaan er dus vier paden.



Figuur 4.4.9 Twee van de vier kritieke paden voor de spijkermachine

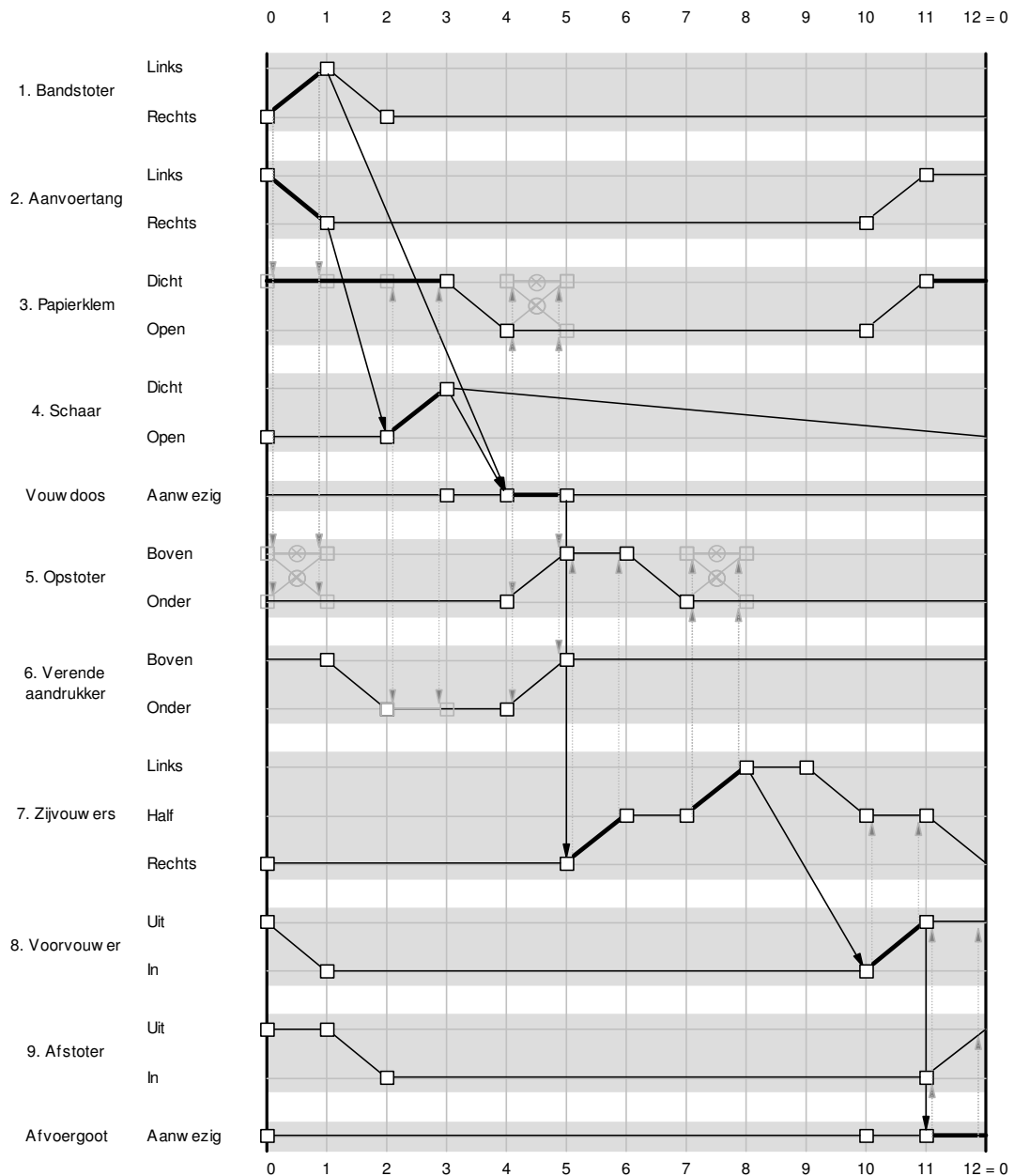
4.4.4 Voorbeeld van een stap-toestand diagram

Een wat ingewikkelder voorbeeld wordt ontleend aan het proces "verpakken van een maggiblokje", zie figuur 4.4.10. De belangrijkste handeling is het omhoog duwen van een blokje, samen met een rechthoekig vel papier, door de vouwdoos (een soort vierkante trechter, die vast staat opgesteld). Hierbij worden in één beweging vijf van de zes vlakken om het blokje gevouwen. De rest van de handelingen betreffen het aanvoeren van het blokje en het papier, het maken van de vouwen van het onderste vlak, en het afvoeren van het verpakte blokje.



Figuur 4.4.10 Machine voor het inpakken van maggiblokjes

Het stap-toestand diagram staat in figuur 4.4.11. De cyclus begint met het van de rol trekken van een lengte papier door de papieraanvoertang (2), waarvan de klem (3) gesloten is. Gelijktijdig wordt door stoter (1) het maggiblokje klaargezet op de verticale opstoter (5), die dan in de onderste positie is. Voordat het papier wordt afgeknipt door de schaar (4), komt eerst de verende aandrukker (6) naar beneden om het papier op het blokje te klemmen. Na het knippen gaat het geheel van (5), (6), blokje en papier samen omhoog door de vouwdoos. Het laatste vouwvlak is relatief het moeilijkst te maken. Eerst komen de beide zijvouwers (7) naar binnen, vouwen twee zijflappen en nemen de dragende rol van (5) over. Zij moeten dus vlak voor de verticale opstoter (5) stoppen. Deze moet eerst de gelegenheid krijgen om te zakken, dan pas mogen de zijvouwers hun beweging voltooien. Dit is een goed voorbeeld van het gebruik van een tussenrust. Voor de zijvouwers zijn dus *drie* toestanden nodig om een pure volgorde van bewegingen te kunnen beschrijven. Dan rest nog de voorvouwer (8) - deze beweegt tot aan de zijvouwers- en de afstoter (9) - deze maakt de laatste vouw door het blokje op de afvoergoot te schuiven. Ondertussen is de opstoter (5) allang weer beneden, zodat de aanvoer van een nieuw blokje (stoter 1) en het ophalen van een nieuw stuk papier (tang 2 met klem 3) al weer heeft kunnen plaatsvinden.



Figuur 4.4.11 STD voor de maggimachine

Sequentiële relaties

Van belang voor de werkwijze zijn de handelingen die niet anders dan in serie kan staan. Deze handelingen worden door sequentiële relaties beschreven en zijn dik gedrukt in figuur 4.4.11. Omdat de vouwdoos niet beweegt, maar toch een cruciale functie vervult, is een dummytoestand aangemaakt, zodat het toch mogelijk is de sequentiële relaties te tekenen.

Parallele relaties

In het voorbeeld kunnen diverse parallelle relaties aangegeven worden:

- Tijdens *transport* van het papier moet de papierklem het papier *klemmen*
- Tijdens het *knippen* door de schaar, zal de verende aandrukker het papier moeten *aandrukken*, en moet de papierklem het papier blijven *klemmen*.
- De vouwdoos zal alleen dan het papier *vouwen* als zowel blokje als papier door de opstoter door de vouwdoos worden *getransporteerd*.

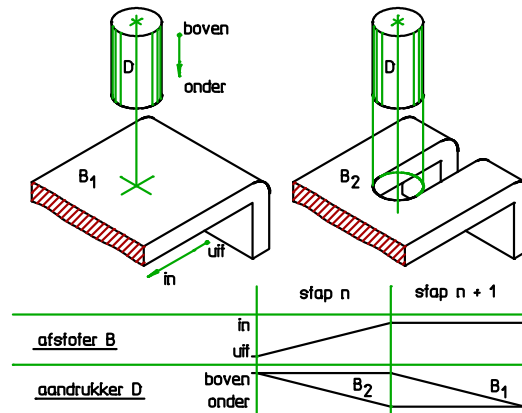
- Tijdens het *vouwen* door de vouwdoos, moet de verende aandrukker het papier op het blokje blijven *aandrukken*.

Botsindicatoren

In het STD kunnen potentiële botsingen tussen onderdelen aangegeven worden. Enkele voorbeelden zijn:

- Tijdens het van *rechts naar links* bewegen van de bandstoter mag de opstoter alleen maar *onder* zijn.
- Tijdens het van *onder naar boven* bewegen van de opstoter moet de papierklem *open* zijn.

Botsingen kunnen soms vermeden worden door het maken van constructieve aanpassingen. Figuur 4.4.12 toont dat de afstoter een gaffelvorm heeft, waardoor hij niet kan botsen met aandrukker.



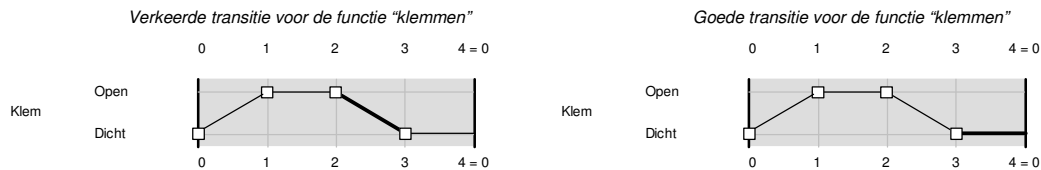
Figuur 4.4.12 Afstoter zonder en met gaffelvorm

4.4.5 Punten van aandacht bij het construeren van een Stap Toestand Diagram

Bij het construeren van een stap toestand diagram moet men rekening houden met het definiëren van functionele transities, het toepassen van botsindicatoren i.p.v. sequentiële relaties, en het toepassen van parallele relaties i.p.v. sequentiële relaties.

Definiëren van functionele transities

Bij het toekennen van een functie aan een transitie, moet men goed in de gaten houden *welk* bewegingsdeel de functie vervult. Een veel gemaakte fout wordt in figuur 4.4.13 getoond. Zo zal een klem de functie "klemmen" vervullen als hij gesloten is en blijft, en niet als hij van open naar dicht beweegt.

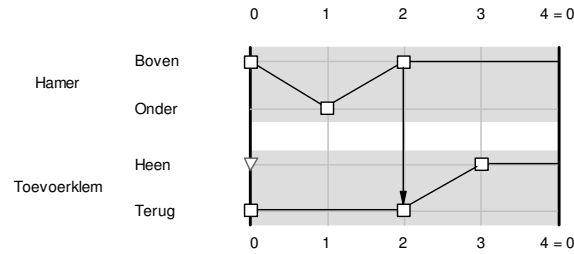
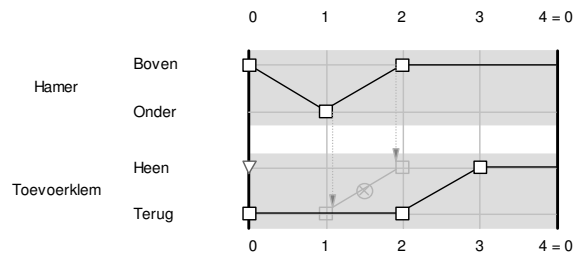


Figuur 4.4.13 Foutief en correct model van de functie "klemmen"

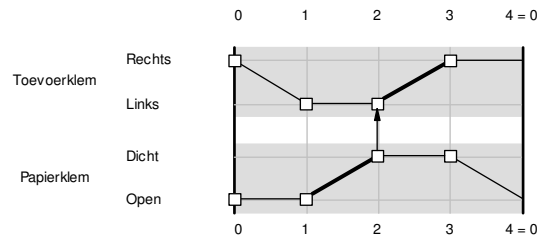
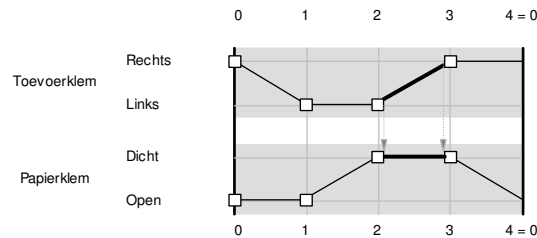
Botsindicatoren versus sequentiële relaties

Botsingen tussen onderdelen worden vaak ten onrechte beschreven door sequentiële relaties. Dit wordt duidelijk gemaakt met een voorbeeld.

In het geval van de spijkermachine mag het van *onder naar boven* bewegen van de hamer niet tegelijkertijd plaatsvinden met het van *terug naar heen* bewegen van de toevoerklem omdat de draad anders tegen de hamer zal aankomen. De juiste wijze om dit te modelleren is het definiëren van een botsindicator tussen deze bewegingsdelen. Het probleem van de potentiële botsing wordt opgelost door het ene bewegingsdeel vóór of juist ná het andere plaats te laten vinden. Vaak wordt in plaats van het modelleren van het probleem (de botsing), de oplossing (het na elkaar plaatsvinden van bewegingen) gemodelleerd, zoals in de bovenste afbeelding van figuur 4.4.14 is aangegeven.

Fout: Botsrelatie gemodelleerd door een sequentiële relatie*Goed: Botsrelatie op de juiste wijze gemodelleerd**Figuur 4.4.14 Foutief en correct model van een botsing tussen onderdelen**Parallele relaties versus sequentiële relaties*

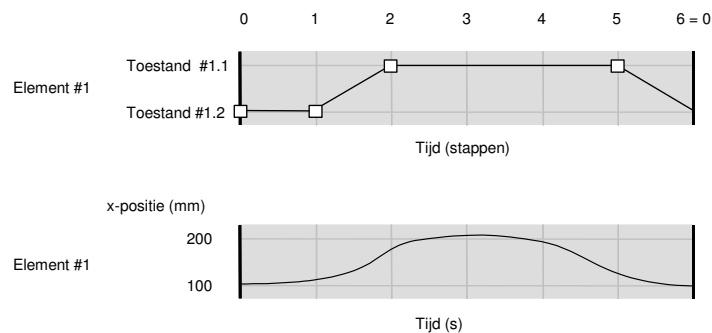
Ook parallelle relaties worden vaak als een sequentiële relatie gemodelleerd. Zo laat de bovenste afbeelding in figuur 4.4.15 zien dat eerst de papierklem in de maggiblokjes inpakmachine dicht moet gaan alvorens de toevoerklem mag bewegen. Ook hier geldt dat dit een foutief gebruik van de sequentiële relatie is, mede doordat de functie "klemmen" aan het verkeerde bewegingsdeel van de papierklem is toegekend. De juiste wijze van modelleren is in de onderste afbeelding getoond. Deze figuur laat zien dat de functie "klemmen" wordt vervuld als de papierklem dicht is en dicht blijft. Verder toont het dat het tijdens de "transportfunctie" vereist is dat het papier geklemd wordt.

Fout: Parallelle relatie gemodelleerd door een sequentiele relatie*Goed: Parallelle relatie op de juiste wijze gemodelleerd**Figuur 4.4.15 Foutief en correct model van een parallelle relatie*

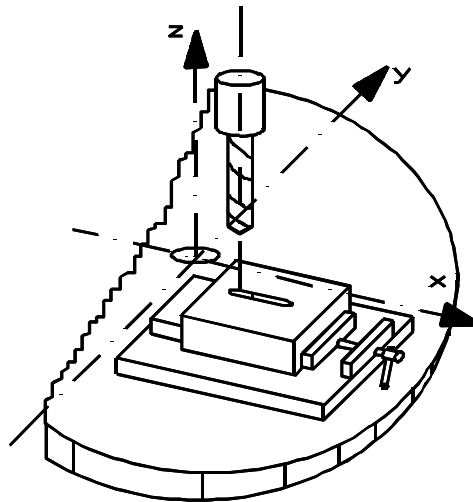
4.5 Het tijd-toestand en het tijd-weg diagram.

Een STD wordt vaak tijdens de conceptuele fase van het ontwerpproces gemaakt. In deze fase is de globale werking van de machine ongeveer bekend. De exacte bewegingen, dimensies en de tijden nodig om bewegingen te maken zijn vaak nog niet te bepalen, mede omdat deze variabelen afhangen van de interactie tussen de bewegingen van onderdelen.

Om toch een beeld te kunnen vormen van het complexe bewegingenpatroon van de machine, kan een STD gebruikt worden. In een STD wordt, in plaats van een continue weg- en tijdsas, gebruik gemaakt van een discrete weg- en tijdsas. Nadat het uiteindelijke STD bepaald is, kunnen tijden aan de stappen en numerieke waarden aan de toestanden gekoppeld worden (figuur 4.5.1) en gaat het STD over in een continue beschrijving van de beweging.

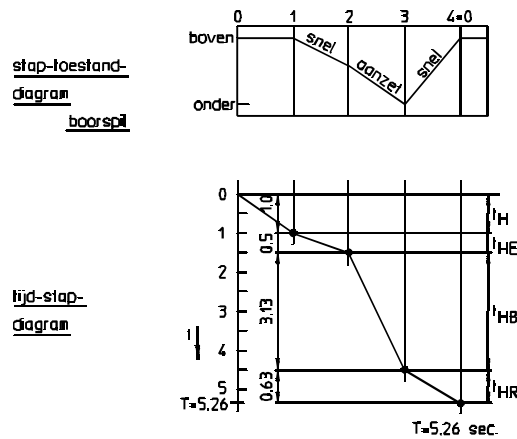
*Figuur 4.5.1 Van een STD naar een continue beweging*

Door staptijden aan het stap-toestand diagram toe te voegen kan dit opgewerkt worden tot een tijd-toestand diagram. Voor zover de toestanden een beweging betreffen spreekt men ook wel van een tijd-weg diagram (spraakgebruik ook weg-tijd diagram).



Figuur 4.5.2 Frezen van een sleufgat

Als voorbeeld wordt het frezen van de sleuf (figuur 4.5.2) verder beschouwd. Een markante stap is stap nr. 2 (frees omlaag). Hier kan men om de tijd goed te benutten de stap in tweeën delen: eerst ijlgang, dan de boring. In het voorbeeld is aangenomen dat dit $0,5 + 3$ s duurt, zie figuur 4.6.3.



Figuur 4.5.3 Stap-toestand diagram Frees

Overige tijden (aangenomen wordt een constante snelheid gedurende de stap):

- stap 3 (sleuf frezen): 6 s;
- stap 4 (frees omhoog): 1 s;
- stap 1 (frees terug, ijlgang): 1 s.

Voor de draaitafel (ook stap 1) is een beweging met constante snelheid in combinatie met start/stop niet realistisch. Beter is een motor met mechanisme (een RR-omzetter met tussenrust, waarin telkens gestopt/gestart wordt). Vooruitlopend op de definitie van een geschikt bewegingsverloop, is een kwalitatief geloofwaardig verloop getekend. Hierbij is aangenomen, dat de staptijd 1,5 s bedraagt.

Na het vaststellen van deze staptijden kan het tijd-weg diagram getekend worden.

De *cyclustijd* is de som van de langste tijden van de seriehandelingen. Hier: $1,5 + 3,5 + 6 + 1 = 12$ s.

De *capaciteit* van de machine is het aantal producten per tijdseenheid. Hier $3600/12 = 300/\text{uur}$.

4.6 Bewegingsplan met baanfuncties

Mechanismen zijn niet alleen geschikt als functiegeneratoren van oneenparige bewegingen, maar kunnen ook allerlei ingewikkelde banen beschrijven (figuur 4.2.1 en 1.2.8). Enkele voorbeelden werden in hoofdstuk 1 genoemd, zoals de tuimelarmkraan en de platenstapelaar.

Ook als dergelijke baankrommen gebruikt zullen worden voor het bewegen van het product of het bewerkingsgereedschap, zal dit veelal samen met andere bewegingen plaatsvinden. Deze andere bewegingen zijn dan weer ofwel enkelvoudige functies (overdrachtsfuncties) ofwel baanfuncties.

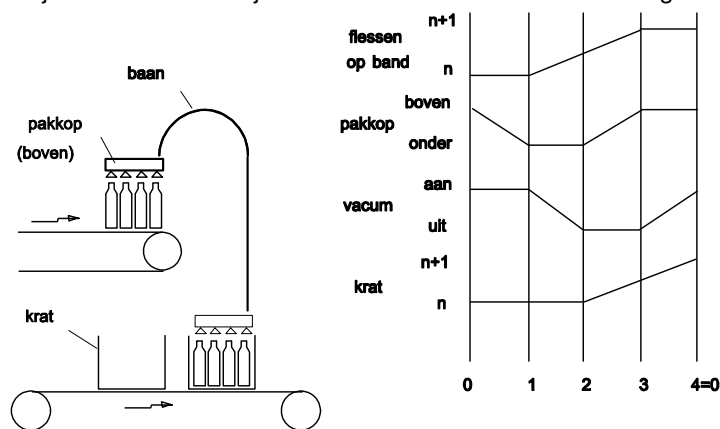
Voor het weergeven van de samenwerking komt in aanmerking:

- een beschrijving in het XY-vlak, d.w.z. een tekening van de baan in het machineframe. Als voorbeeld hiervan dient de koppelkromme van de platenstapelaar (figuur .2.6) of de tuimelarmkraan (figuur 1.2.2).
- een beschrijving van de individuele componenten X en Y van de baan, deze worden dus ieder opgevat als een overdrachtsfunctie.
- een beschrijving van de beweging *langs* de baan, dus als een overdrachtsfunctie (translatie) langs een kromme lijn.

De laatste beschrijving komt met name goed tot zijn recht in een machine met een volgorde van deelbewegingen. De werkwijze van de machine kan hiermee in een stap-toestand diagram of een tijd-weg diagram worden weergegeven. Het ontwerp van het baangenerator-mechanisme is een aparte ontwerptaak. Deze blijft hier nog buiten beschouwing (black box). De toestanden worden gerelateerd aan punten op de baankromme, of eventueel ook aan de toestand van de aandrijfgrootheid van het nog te ontwerpen mechanisme.

De havenkraan zal bijvoorbeeld in principe werken met een volgorde van deelbewegingen: hijsen - toppen - vieren - etc. Het toppen wordt door de koppelkromme van een vierstangenmechanisme gerealiseerd, maar is in een stap-toestand diagram gewoon één van de deelbewegingen met als toestanden "in" en "uit".

Voorbeeld. In een machine moeten flessen in kratten worden geplaatst, zie figuur 4.6.1. De flessen worden aangevoerd op een band en staan gereed voor de pakkop met vacuümdoppen, die volgens de gestippeld getekende baankromme heen en terug moet bewegen. Daarbij moet de pakkop steeds horizontaal blijven. Het ontwerp van een mechanisme, dat de pakkop langs de getekende baan voert, komt hier (nog) niet aan de orde. Voor het beschrijven van de werkwijze van de machine is hier van belang:



Figuur 4.6.1 Werkwijze van een machine voor het in kratten plaatsen van flessen

- 1) De baan in het XY-vlak t.o.v. de machine (met de vorm van een "wandelpstok").
- 2) Het stap-toestand diagram met daarin o.a. de beweging van de pakkop, welke de toestanden "boven" (de transportband) en "onder" (boven de krat) kent.

4 OPSTELLEN VAN EEN BEWEGINGSPLAN (1)	1
4.1 SOORTEN BEWEGINGEN	1
4.2 OVERDRACHTSFUNCTIES EN TIJDFUNCTIES	2
4.3 VOORBEELDEN VAN EEN DIAGRAM VAN OVERDRACHTSFUNCTIES	4
4.4 STAP TOESTAND DIAGRAM	6
4.4.1 Elementen	6
4.4.2 Relaties tussen transitie's.....	8
4.4.3 Het Functionele en Kritieke pad.....	10
4.4.4 Voorbeeld van een stap-toestand diagram.....	11
4.4.5 Punten van aandacht bij het construeren van een Stap Toestand Diagram	13
4.5 HET TIJD-TOESTAND EN HET TIJD-WEG DIAGRAM.	15
4.6 BEWEGINGSPLAN MET BAANFUNCTIES	17