



# Onderhoudskunde

prof.ir. Klaas Smit

# Onderhoudskunde



# Onderhoudskunde

prof.ir. Klaas Smit

© VSSD

Eerste druk 2010

Uitgegeven door

VSSD

Leegwaterstraat 42, 2628 CA Delft, The Netherlands

tel. +31 15 27 82124, telefax +31 15 27 87585, e-mail: [hlf@vssd.nl](mailto:hlf@vssd.nl)

internet: <http://www.vssd.nl/hlf>

URL over dit boek: <http://www.vssd.nl/hlf/b017.htm>

Voor docenten die dit boek in cursusverband gebruiken, is de collectie illustraties in elektronische vorm beschikbaar. Men kan de collectie aanvragen bij email [hlf@vssd.nl](mailto:hlf@vssd.nl)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

*All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.*

paperback ISBN 978-90-6562-249-5 eboek ISBN 978-90-6562-260-0

NUR 800, 950

*Keywords:* onderhoudskunde

## Voorwoord

Het nieuwste boek van prof.ir. Klaas Smit, de nestor van de systematische benadering van het onderhoud van kapitaalgoederen in Nederland, heeft alles in zich om het standaardwerk te worden voor iedereen die zich in dit vak wil en moet verdiepen, in het onderwijs, in het bedrijfsleven en bij de overheid.

De instandhouding en vernieuwing van de Nederlandse kapitaalintensieve industrie en infrastructuur is van groot belang voor het behoud van onze welvaart. Doelmatig en effectief onderhoud van onze steeds complexere technische systemen levert een essentiële maar vaak nog ondergewaardeerde bijdrage aan onze internationale concurrentiepositie. Hoge bedrijfszekerheid draagt bij aan de veiligheid en vermindert de milieubelasting. Maar is ook een voorwaarde om een hoge bezettingsgraad te realiseren en de levensduurkosten zo laag mogelijk te houden.

In zijn boek plaatst prof. Smit de nieuwste inzichten op het gebied van onderhoud temidden van de overige bedrijfsprocessen die beheerders van kapitaalgoederen, zowel in de private als publieke sector, gebruiken om hun strategische doelen te realiseren. Deze integrale aanpak is een uitnodiging aan beleidsmakers op alle niveaus om bij het toewijzen van middelen onderhoud de aandacht te geven die het verdient.

Roelf Venhuizen

Voorzitter Profion, branchevereniging voor Professioneel Industrieel Onderhoud

Zoetermeer, oktober 2010



# Inhoud

VOORWOORD	v
INHOUD	vii
1 ONTWIKKELING VAN DE ONDERHOUDSFUNCTIE	1
1.1 Inleiding	1
1.2 Het belang van onderhoud	1
1.3 Externe invloeden op de onderhoudsfunctie	11
1.4 Ontwikkelingen in de onderhoudsfunctie	16
1.5 Ontwikkelingen in de organisatie van het onderhoud	26
1.6 Conceptuele benaderingen in het onderhoud	30
1.7 Literatuur	36
2 ONDERHOUDSGEDRAG VAN TECHNISCHE SYSTEMEN	37
2.1 Inleiding	37
2.2 Technisch systeem classificatie	38
2.3 Beschrijven van storingsgedrag	49
2.4 Bedrijfszekerheid	60
2.5 Onderhoudbaarheid	70
2.6 TS-beschikbaarheid	72
2.7 Levensduurkosten en kosteneffectiviteit	74
2.8 TS-prestatiebeheer	76
2.9 Storingseliminatie	91
2.10 TS-configuratiebeheer	98
2.11 Literatuur	100
3 OPTIMALISEREN ONDERHOUDSCONCEPT	103
3.1 Inleiding	103
3.2 Eigenlijk en oneigenlijk onderhoud	103
3.3 Preventief en correctief onderhoud	109
3.4 Planbaar en niet-planbaar onderhoud	112



---

3.5	Preventieve onderhoudspolitieken.	115
3.6	Correctief onderhoud	129
3.7	Overzicht onderhoudspolitieken	130
3.8	Onderhoudsconcept dynamische TS-elementen	132
3.9	Onderhoudsconcept voor statische TS-elementen	144
3.10	Onderhoudsconcept instrumentele veiligheid	151
3.11	Literatuur	167
4	ONDERHOUDSBEWUST ONTWERPEN	169
4.1	Inleiding	169
4.2	Fasen en faseproducten van investeringsprojecten	169
4.3	Ontwikkelingen in investeringsprojecten	178
4.4	Systems- en Concurrent engineering	184
4.5	Management van investeringsprojecten	192
4.6	Onderhoudsbewust ontwerpen	198
4.7	Ontwerpen op bedrijfszekerheid	210
4.8	Ontwerpen op veiligheid	220
4.9	Ontwerpbeoordeling op onderhoud	231
4.10	Ontwerpen op minimale levensduurkosten	236
4.11	Literatuur	246
5	WERKSTROOMBEHEERSING	249
5.1	Inleiding	249
5.2	Doelstellingen werkstroombeheersing	249
5.3	Supply Chain Management	256
5.4	Werkaanbod en -routing	262
5.5	Fasering werkstromen	269
5.6	Projectmatige werkstroom	289
5.7	Uitbesteding	299
5.8	Literatuur	315
6	TD-LOGISTIEK	317
6.1	Inleiding	317
6.2	Ketenmanagement	318
6.3	TS-ontwerp en artikelbehoeften	321
6.4	TD-werkzaamheden en artikelbehoeften	325
6.5	Artikelbeheer	330
6.6	Artikelvoorraadbeheer	337
6.7	Economische en organisatorische aspecten	352
6.8	Literatuur	365
7	ORGANISATIE VAN DE TD-FUNCTIE	367
7.1	Inleiding	367
7.2	Ontwikkeling van de TD-organisatie	367
7.3	Toewijzing TD-functies naar onderhoudsniveaus	376
7.4	Onder- of nevenschikking TD	390

---

7.5	Relatievormen	393
7.6	Horizontale differentiatie	399
7.7	Verticale differentiatie	413
7.8	Overlegstructuur	416
7.9	Gedragwetenschappelijke benadering	422
7.10	Total Productive Maintenance	428
7.11	Literatuur	433
8	EVALUATIE TD-FUNCTIE	435
8.1	Inleiding	435
8.2	Strategisch proces	435
8.3	Kosteneffectiviteit onderhoud	440
8.4	TS-prestatiebeheer	450
8.5	Evaluatie TS-prestatiebeheer	454
8.6	Evaluatie werkproces configuratiebeheer	460
8.7	Evaluatie werkproces onderhoudsconceptbeheersing	465
8.8	Evaluatie werkstroombeheersing	470
8.9	Evaluatie werkprocessen middelenbeheer	481
8.10	Financieel beheer	489
8.11	Evaluatie en continu verbeteren	498
8.12	Literatuur	505
9	INFORMATIEVOORZIENING TD	507
9.1	Ontwikkeling van de informatievoorziening	507
9.2	Productiebesturingssystemen	511
9.3	Het TSM-model	513
9.4	Onderzoek naar het gebruik van OBS	519
9.5	ICT-ondersteuning voor onderhoudsmanagement	523
9.6	ICT ondersteuning voor onderhoudstechnologie	532
9.7	ICT ondersteuning in onderhoudsbewust ontwerpen	541
9.8	Ontwikkelingen in procesbesturingssystemen	545
9.9	ICT-ondersteuning voor managementinformatie	548
9.10	ICT-planning	552
9.11	Literatuur	555
	LIJST VAN AFKORTINGEN	557
	TREFWOORDEN	561



# 1 Ontwikkeling van de onderhoudsfunctie

## 1.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkeling van het industriële onderhoud. Het belang van het onderhoud wordt beschouwd vanuit nationaal-, ondernemings- en technisch object niveau en gekarakteriseerd in de vorm van relatieve onderhoudskosten. De invloed van onderhoud op de primaire bedrijfsfunctie, de productie of operatie, is onderwerp van beschouwing. Vervolgens wordt aandacht geschonken aan de invloed van externe ontwikkelingen op de onderhoudsfunctie. De ontwikkelingen in de onderhoudsfunctie zelf krijgen aandacht, achtereenvolgens het onderhoudsmanagement, de onderhoudstechnologie en de onderhoudsengineering. Tenslotte zullen enkele conceptuele benaderingen voor de onderhoudsfunctie de revue passeren.

## 1.2 Het belang van onderhoud

Het belang van onderhoud kan worden uitgedrukt in absolute en relatieve eigenlijke onderhoudskosten. Daarnaast zijn de onderhoudsafhankelijke kosten een maat voor het belang van onderhoud. De som van onderhouds- en onderhoudsafhankelijke kosten wordt aangeduid als integrale onderhoudskosten.

### 1.2.1 *Onderhoudskosten op nationaal niveau*

De omvang van de onderhoudskosten op nationaal niveau is feitelijk niet bekend. Het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) verzamelt weliswaar gegevens over onderhoudskosten, maar dit betreft alleen uitgaven voor ingekochte diensten en materialen. Het is mogelijk de nationale onderhoudskosten analytisch te schatten. Dit kan met de kennis van de omvang van de kapitaalgoederenvoorraad van de overheid en per bedrijfssector volgens de “Standaard Bedrijfsindeling” (SBI) classificatie. Met gebruik van ervaringswaarden van de jaarlijkse onderhoudskosten als percentage van de vervangingswaarde van de kapitaalgoederenvoorraad per sector, is een grove schatting van de nationale onderhoudskosten te maken.

Onderzoek, reeds lang geleden in Nederland en Duitsland uitgevoerd, heeft aangetoond dat de nationale onderhoudskosten ca. 10 % van het “Bruto Binnenlands Product” (BBP) bedragen. Het BBP komt ongeveer overeen met de som van de toegevoegde waarde van alle geproduceerde producten en diensten. Toegevoegde waarde is de waarde die in het bedrijfsproces aan een geleverd product of dienst wordt toegevoegd, dus het verschil tussen *verkoopprijs* en *ingekochte* goederen, diensten en voorzieningen. In deze kosten zijn niet de onderhoudsafhankelijke kosten (OAK), inkomstenderving door productieverliezen als gevolg van onderhoud, begrepen.

Onderzoek uitgevoerd door TU-Eindhoven (Enden, 1979) leverde het volgende beeld op over de verdeling van de nationale onderhoudskosten, circa 10 % van het BBP. Deze zijn als volgt per sector verdeeld:

Productiemiddelen	34%
Transportmiddelen	19%
Gebouwen	22%
Wegen	6%
Woningen	19%

Hieruit blijkt dat bouwkundig en civieltechnisch onderhoud ongeveer een gelijke omvang heeft als het onderhoud aan machines en transportmiddelen. De onderhoudskosten nemen in de meeste sectoren in relatieve zin, als percentage van de vervangingswaarde van de kapitaalgoederen, af. Dit als gevolg van verminderde onderhoudsbehoefte door beter ontwerp en kwaliteit van kapitaalgoederen. Het vermoeden bestaat dat deze afname van dezelfde orde van grootte is als groei van de onderhoudskosten tengevolge van de toename van de kapitaalgoederenvoorraad.

In Duitsland is eveneens onderzoek uitgevoerd naar de omvang van de nationale onderhoudskosten, door de Duitse nationale onderhoudsvereniging (DKIN, 1980). Dit onderzoek is gebaseerd op een betere onderbouwing door statistisch materiaal en laat ongeveer dezelfde waarde van 10% van het Bruto Binnenlands Product zien. De onderhoudskosten in dit onderzoek zijn als volgt over de soorten kapitaalgoederen verdeeld:

Machines	37%
Transportmiddelen	10%
Gebouwen	12%
Wegen	8%
Woningen	14%
Huishoudens	19%

De resultaten van het Duitse onderzoek zijn deels vergelijkbaar met die van het Nederlandse onderzoek, omdat de toenmalige SBI-classificaties niet overeen kwamen en omdat het onderhoud van duurzame consumentengoederen van private huishoudens daarin is opgenomen. Opvallend is het aanzienlijke aandeel onderhoud van huishoudens. Er kan worden gesteld dat de omvang van de nationale onderhoudskosten circa 10 % is van het BBP, in 2007 circa 50 miljard Euro.

De omvang van de nationale onderhoudskosten zou gerichte aandacht hiervoor rechtvaardigen, op de verschillende niveaus van het reguliere technisch onderwijs en onderzoek op universiteiten. Dit is echter ook nu nog steeds maar beperkt het geval.

De vakliedenopleiding, traditioneel het Lager Technisch Onderwijs “de Ambachtsschool”, is feitelijk verdwenen. Als gevolg van kostenreductie en concentratie op kerntaken, zijn vrijwel alle bedrijfsscholen gesloten. Door meer nadruk op de algemene vorming in het “Vorbereidend Middelbaar Beroepsonderwijs” (VMBO) en het ontoereikende niveau van de leerlingen, waren voornamelijk de leerlingen die doorstroomden naar het leerlingwezen bruikbaar voor de industrie. Het aanbod in deze categorie was en is echter veel te gering ten opzichte van de behoeften (Anon, 1997).

De technische stroom binnen het huidige “Middelbaar Beroepsonderwijs” (MBO) voldoet niet aan bovengenoemde karakteristieken. Onderhoudsvaklieden worden daarom al jaren gerekruteerd uit MTS-ers. De MTS kan evenwel niet worden beschouwd als een echte vakliedenopleiding (Smit, 1991). Hierin zullen bedrijven zelf, in samenwerking met “Regionale Opleiding Centra” (ROC), moeten voorzien.

Het Hoger Technisch Onderwijs (Technische Hogescholen) leidt mede op voor toekomstige onderhoudsmanagers en constructeurs. In deze opleidingen is het wenselijk om enige expliciete aandacht te schenken aan onderhoudsmanagement en onderhoudsbewust ontwerpen. Op het ogenblik gebeurt dat nog te beperkte, hoewel er de laatste jaren aan diverse TH's specifieke afstudeerrichtingen op het gebied van onderhoud zijn ontstaan.

Het Wetenschappelijk Technisch Onderwijs aan de Technische Universiteiten vormt een basis voor toekomstige TD-managers en project-engineers (Smit, 1987). De aandacht voor onderwijs en onderzoek in onderhoud op het niveau van leerstoelen aan de TU's in Nederland is op dit ogenblik eveneens beperkt, hoewel er in de loop der tijd vanuit de TU's wel het nodige is gebeurd.

Het is van belang dat naast toekomstige TD-managers, ook toekomstige bedrijfsleiders en productiemanagers tijdens de initiële opleiding enig inzicht verwerven in het belang en de beheersing van onderhoud, zodat er meer begrip ontstaat vanuit de primaire bedrijfsfunctie voor dit complexe vakgebied.

De omvang van de nationale onderhoudskosten rechtvaardigt een betere bundeling van krachten voor onderzoek en overdracht van kennis, bijvoorbeeld in de vorm van een nationaal instituut of in een samenwerkingsverband van verschillende verenigingen op onderhoudsgebied en de universiteiten, in nauw overleg met het bedrijfsleven en de overheid. Hiertoe zijn wel pogingen ondernomen, maar die hebben tot op heden slechts gering resultaat gehad.

### *1.2.2 Onderhoudskosten op ondernemingsniveau*

Onder onderhoudskosten worden in dit verband worden verstaan:

- loonkosten (direct/indirect) van het eigen onderhoudspersoneel
- kosten van verbruikte reservedelen en materialen
- kosten voor de inzet van derden.

De omvang van onderhoudskosten op bedrijfsniveau is uiteraard sterk afhankelijk van de omvang en de aard van het bedrijf en van de toegepaste productiemiddelen of

technische systemen TS. Een studie uitgevoerd in Engeland (HMSO, 1978) geeft het aandeel van onderhoudskosten als percentage van de volgende grootheden:

Omzet	2 - 5%
Productiekosten	3 - 15%
Toegevoegde waarde	5 - 30%

Duidelijk is, dat de omvang van de onderhoudskosten als aandeel van de toegevoegde waarde aanzienlijk kan zijn; dit is vooral het geval bij kapitaalsintensieve bedrijven. De onderhoudskosten als percentage van de toegevoegde waarde (omzet minus variabele kosten) is een relevante indicator voor de onderhoudsinspanning, omdat de toegevoegde waarde binnen een onderneming beïnvloedbaar is. Hierdoor wordt een relatie gelegd tussen de productie-inspanning enerzijds en de omvang van de onderhoudskosten anderzijds. Dit is niet het geval wanneer zoals gebruikelijk de onderhoudskosten uitsluitend als percentage van de vervangingswaarde van de technische systemen worden beschouwd. Daarmee worden de gevolgen van een gewijzigde productie-inspanning voor onderhoud niet zichtbaar gemaakt.

Ook in bovenstaande onderhoudskosten op bedrijfsniveau zijn de kosten niet begrepen. Onderhoudsafhankelijke kosten, soms onterecht aangeduid als indirecte onderhoudskosten, zijn de kosten als gevolg van inkomstenderving en extra kosten voor het inhalen van gederfde productie, vanwege onderhoudsredenen. Of ook, potentieel aan te wenden productiecapaciteit, wanneer deze kan worden afgezet.

Het belang van de onderhoudsfunctie in sommige kapitaalsintensieve bedrijven blijkt bijvoorbeeld ook uit de verhouding van het aantal personeelsleden "Full Time Equivalents" (FTE) voor productie versus het aantal FTE van eigen personeel en derden, voor onderhoud. Het aantal monteurs is in sommige sectoren inmiddels groter dan het aantal operators. In de "onbemande" fabriek van de toekomst zullen echter altijd nog monteurs nodig zijn.

### 1.2.3 Onderhoudskosten op objectniveau

De omvang van de jaarlijkse onderhoudskosten per TS, wordt vaak gerelateerd aan de vervangingswaarde van het beschouwde TS. Gemiddeld zijn deze circa 5% voor productiemiddelen en circa 1% voor gebouwen (Marcelis, 1979). De genoemde percentages zijn echter sterk afhankelijk van aard en wijze van gebruik van het desbetreffende TS. Hieronder volgt voor enkele TS de verhouding van de contant gemaakte som van de onderhoudskosten over de gehele levensduur en de vervangingswaarde:

Schip	0,3
Autobus	0,5
Civiel Vliegtuig	2
Oorlogsschip	1,5
Gevechtstank	2,5
Gevechtsvliegtuig	4-6

Uiteraard betreffen bovenstaande cijfers indicatieve waarden. De werkelijke omvang is, naast de aard van het TS, sterk afhankelijk van de wijze en intensiteit van gebruik en





economische ontwikkeling op de TS en de onderhoudsfunctie. De onderstreepte termen refereren naar de blokken in bovenstaande figuur.

Het nationale productievolume vertoont over lange perioden een jaarlijkse groei van 1-4%. Deze groei wordt mede mogelijk gemaakt door uitbreiding van de productiecapaciteit. De opeenvolgende generaties TS hebben in de regel als kenmerk een geleidelijke vergroting van de capaciteit per productie-eenheid: schaalvergroting.

Schaalvergroting wordt in vrijwel iedere sector geconstateerd: toenemende passagierscapaciteit van verkeersvliegtuigen, vervoerscapaciteit van ruwe olietankers, de oveninhoud van hoogovens, de doorzet van een chemische fabriek, het opgestelde vermogen van een opwekkingseenheid in elektriciteitscentrales, enz.

Deze schaalvergroting wordt onder meer mogelijk gemaakt door de toepassing van nieuwe technologieën en technieken, die door "Research and Development" (R&D) beschikbaar komen.

Toename van het nationale productievolume leidt tot welvaartsstijging, het inkomen per capita en tot verbetering van arbeidsvoorwaarden zoals kortere werktijden en hogere lonen. Onder invloed van concurrentie zullen bedrijven trachten deze hogere loonkosten te compenseren door technische maatregelen zoals mechanisatie, vervanging van menselijke spierarbeid en automatisering, vervanging van mentale arbeid. Mechanisering en automatisering van TS leiden tot verhoging van de arbeidsproductiviteit uitgedrukt als productievolume per manjaar.

De schaalvergroting van TS leidt o.a. tot toenemende kapitaalsintensiteit, dus tot een hoger vaste kostenaandeel als gevolg van hogere afschrijvingen in de productiekosten. De vaste kosten bepalen voor een groot gedeelte de omzetzijde als gevolg van onderhoudsgerelateerde productieverliezen; de onderhoudsafhankelijke kosten. Er komt daardoor een grotere nadruk te liggen op enerzijds beperking van het aantal technische storingen door preventief onderhoud en onderhoudseliminatie door modificatie en anderzijds op het reduceren van de TS-stilstandsduur om de storingen te verhelpen. Eén van de maatregelen om deze stilstandsduur benodigd voor het uitvoeren van onderhoud te verkorten, is verbetering van de onderhoudbaarheid van TS (toegankelijkheid, verwisselbaarheid, storingssignalering, etc.). Daardoor kunnen de onderhoudsafhankelijke kosten worden beperkt.

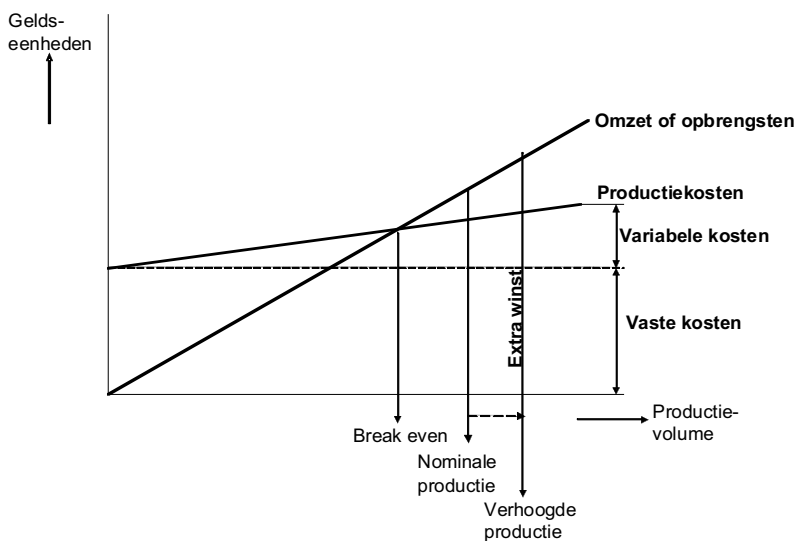
Een ander gevolg van schaalvergroting is de toename van de complexiteit van TS. Deze komt tot uitdrukking in het aantal toegepaste onderdelen en componenten, in het groeiende aantal technische specialismen om het onderhoud uit te voeren en de onderlinge afhankelijkheden daartussen. De toegenomen complexiteit vereist aandacht voor de bedrijfszekerheid, met als doel het aantal technische storingen te verminderen. Dit is het aandachtsgebied van de onderhoudstechnologie.

Onderhoudsuitvoering is arbeidsintensief: 75-80 % van de onderhoudskosten zijn loonkosten. Daarom is onderhoudsmanagement van belang om o.a. de arbeidsproductiviteit van het onderhoudspersoneel op een voldoende niveau te brengen. Dit wordt gerealiseerd door werkvoorbereiding en planning dat ten doel heeft wacht-, loop- en zoektijden en afstemmingsverliezen te beperken. Naast het verlagen van de onderhouds-

kosten, draagt werkvoorbereiding en planning ook bij aan beperking van de stilstandstijd van de TS en daarmee van de onderhoudsafhankelijke kosten.

De hoogte van de onderhoudsafhankelijke kosten wordt bepaald door de productievraag. Bij onderbezetting van een TS kan verloren productie worden ingehaald, de onderhoudsafhankelijke kosten worden in deze situatie bepaald door de extra kosten nodig om de verloren productie in te halen. Bij een volledig bezette productiesituatie betekent verloren productie inkomstenderving en daarmee zijn de onderhoudsafhankelijke kosten in deze situatie aanzienlijk hoger.

De invloed van de benuttingsgraad van een TS en daarmee op de onderhoudsafhankelijke kosten, kan met een vereenvoudigd model worden geïllustreerd, zie Figuur 1.2.



Figuur 1.2 Benuttingsgraad van TS.

In dit model zijn op de verticale as geldeenheden uitgezet en op de horizontale as het geproduceerde volume, c.q. de benuttingsgraad van een TS. Daar waar de omzet of opbrengsten en de productiekosten elkaar snijden, is er sprake van omslag van verlies naar winst of andersom, het omslag- of “break-even” punt.

De productiekosten bestaan voor een deel uit vaste kosten, dat zijn de kosten die binnen grenzen gelijk blijven bij wijziging van het productievolume. Vaste kosten bestaan uit afschrijvingen van vaste activa, productieloonkosten en onderhoudskosten. De variabele kosten variëren met het productievolume en bestaan uit de kosten van grond- en hulpstoffen en het verbruik van bedrijfsvoorzieningen.

De nominale bezettingsgraad wordt gevormd door het productievolume waarbij de vaste kosten worden gedekt en de vooraf bepaalde winstdoelstelling gerealiseerd uit de omzet of opbrengsten verminderd met de productiekosten. Wanneer de productie kan worden verhoogd door vermindering van onderhoudsgerelateerde TS-stilstand (door de frequentie van en/of de stilstandsduur voor onderhoud te beperken) dan wordt de winst vergroot door het grotere verschil van opbrengsten minus de variabele kosten. In de tweede plaats

wordt de winst aanzienlijk vergroot, doordat de vaste kosten al zijn gedekt bij de nominale productie (aangenomen dat de extra productie kan worden verkocht), ter grootte van de boven-nominale meeropbrengst minus de daarvoor benodigde variabele kosten. Er ontstaat dus extra winst ter grootte van het gearceerde gebied. De onderhoudsafhankelijke kosten worden dus bepaald door het verschil tussen de opbrengsten minus variabele kosten voor dat deel van de (potentiële) productiecapaciteit die door onderhoud kan worden beïnvloed, aangenomen dat het extra geproduceerde volume is af te zetten. Dit wordt “Vaste Kosten Marge” (VKM) genoemd. Bij bedrijven met een hoog aandeel vaste kosten, veelal kapitaalintensieve situaties, dienen de frequentie en duur van onderhoudsgerelateerde TS-stilstanden, zo klein mogelijk te blijven. Dit betekent dat een hoge bedrijfszekerheid en onderhoudbaarheid van de technische systemen is vereist.

Een TS-benuttingsgraad juist boven of onder de nominale productiecapaciteit, leidt bij kapitaalintensieve bedrijven al snel tot aanzienlijke winst of verlies. Daarom is het van belang, inzicht te hebben in het omslagpunt, in de nominale capaciteit en in de feitelijke TS-benuttingsgraad. Daarnaast is het noodzakelijk dat de omvang van het beslag dat onderhoud legt op potentiële productiecapaciteit, bekend is.

In Figuur 1.1 is de samenhang tussen TS-complexiteit en de bedrijfszekerheid aangegeven. Deze wordt in Tabel 1.1 nader toegelicht. Één van de factoren die bepalend is voor de complexiteit van een technisch systeem, is het aantal onderdelen of componenten waaruit dat TS is opgebouwd.

Bedrijfszekerheid is gedefinieerd als de kans op ongestoord functioneren, gedurende een bepaalde periode, onder gedefinieerde omstandigheden.

Er wordt uitgegaan van drie systemen: één bestaande uit 10 onderdelen, één uit 100 en één bestaande uit 500 onderdelen. Stel voorts dat de bedrijfszekerheid van de onderdelen van de systemen gelijk is.

Er is tevens aangenomen dat de storingsgraad van de onderdelen constant is en dat een optredende storing van één der onderdelen geen effect heeft op de storingsgraad van de andere onderdelen. Een storing van één onderdeel heeft een systeemstoring tot gevolg. Onder deze aannamen kan de bedrijfszekerheid van de drie systemen worden berekend, door het product van de bedrijfszekerheid van de afzonderlijke onderdelen.

Uit Tabel 1.1 blijkt dat een relatief lage bedrijfszekerheid van onderdelen, bij een toenemende complexiteit al snel leidt tot een lage en onacceptabele bedrijfszekerheid van het systeem. In een dergelijke situatie is het noodzakelijk de bedrijfszekerheid van de afzonderlijke onderdelen te verhogen, door een kwalitatief betere keuze, om een acceptabele bedrijfszekerheid van het systeem te realiseren of deze door het uitvoeren van preventief onderhoud op het gewenste niveau te handhaven.

Bovengenoemde ontwikkeling heeft zich in de loop der tijd voltrokken en is nog steeds van toepassing. De bedrijfszekerheid van componenten en onderdelen neemt bij volgende generaties toe en maakt het mogelijk dat nieuwe generaties complexe systemen veelal een hogere bedrijfszekerheid en daardoor een lagere onderhoudsbehoefte hebben dan voorgaande generaties, minder complexe systemen. Denk bijvoor-

beeld bij personenauto's aan het sterk gereduceerde aantal garagebezoeken voor beurten en storingen, de lagere onderhoudskosten die hiervan het gevolg zijn en daardoor aanzienlijk langere garantietermijnen mogelijk maken.

Bedrijfszekerheid onderdelen	Bedrijfszekerheid TS		
	Aantal onderdelen TS		
	10	100	500
0,98	0,817	0,133	0,000
0,999	0,990	0,905	0,606
0,9999	0,999	0,991	0,952

Tabel 1.1 Complexiteit en bedrijfszekerheid.

Onderhoudskosten zijn, zoals eerder vermeld in § 1.2.2 de loonkosten van het eigen onderhoudspersoneel, de kosten van verbruikte reservedelen en materialen en de kosten voor de inzet van derden.

In veel situaties verricht personeel onder verantwoordelijkheid van productie of operations zoals bedieningspersoneel, operators of productie technici of engineers, ook onderhoudswerkzaamheden. Dit wordt wel aangeduid als eerstelijns onderhoud of "First-Line Maintenance" (FLM). De kosten hiervan zijn in de regel niet bekend, omdat hiervan veelal geen registratie plaatsvindt. In andere situaties valt een storingsdienst onder productie en komen de kosten daarvan niet voor in het onderhoudsbudget en de kostenrapportages.

Regelmatig worden niet alle geplande preventieve onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd. Alle niet- of niet tijdig uitgevoerde preventieve onderhoudswerkzaamheden zijn te beschouwen als achterstallig onderhoud. De kosten hiervan zijn vaststelbaar. De gevolgen van reparaties die later worden uitgevoerd en daardoor meer kosten en het optreden van extra storingen, zijn moeilijk te schatten.

Onderhoudsafhankelijke kosten worden bepaald door productieverliezen die beïnvloedbaar zijn door de onderhoudsfunctie. De waarde ervan is het verschil tussen gederfde inkomsten en variabele kosten, in feite de toegevoegde waarde. Onderhoudsgerelateerde productieverliezen zijn het gevolg van:

- geplande en ongeplande stilstanden van een TS door het uitvoeren van onderhoud
- capaciteit- of doorzetverliezen (hoeveelheid productie per tijdseenheid  $\times$  duur) beneden de normatieve capaciteit, als gevolg van een niet optimale TS-conditie, die door onderhoud is te beïnvloeden
- kosten van uitval, afkeur, declassatie en/of herbewerking van producten, als gevolg van een niet optimale TS-conditie, die door onderhoud zijn te beïnvloeden.

Onderzoek naar de omvang van de integrale onderhoudskosten, als som van de onderhouds- en onderhoudsafhankelijke kosten bij complexe gloeilampen montage-lijnen, leverde het volgende beeld op (Smit, 1983). In Tabel 1.2 zijn de onderhoudsgerelateerde kosten uitgedrukt als percentage van de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten over een periode van 5 jaar van een aantal productielijnen.

<b>ONDERHOUDSGERELATEERDE KOSTEN</b>	
GEMIDDELDE JAARLIJKSE ONDERHOUDSKOSTEN	100%
Kosten van onderhoud uitgevoerd door Operations	75%
Kosten van achterstallig onderhoud	nihil
<b>ONDERHOUDSAFHANKELIJKE KOSTEN</b>	
Onderhoudsgerelateerde stilstandsverliezen	45%
Onderhoudsgerelateerde kwaliteits- en capaciteitsverliezen	65%
<b>INTEGRALE ONDERHOUDSKOSTEN</b>	<b>285%</b>

Tabel 1.2. Integrale onderhoudskosten van gloeilampen montagelijnen.

Hieruit blijkt dat eerstelijns onderhoud in deze situatie een substantieel deel is van de integrale onderhoudskosten, equivalent met maar liefst 75% van de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten. Het betreft hier werkzaamheden zoals: schoonmaken, dagelijks smeren, controles, kleine afstellingen en reparaties, het verhelpen van korte storingen en observatie van het gedrag daarna.

De onderhoudsafhankelijke kosten als gevolg van geplande en niet-geplande stilstanden worden bepaald door de productiedervingskosten van de lijnen. In dit geval waren deze relatief beperkt van omvang, doordat er in de onderzoeksperiode sprake was van onderbezetting. De onderhoudsafhankelijke kosten voor onderhoudsgerelateerde stilstanden waren equivalent met 45% van de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten.

Onderhoudsafhankelijke kosten door capaciteit- en kwaliteitsverliezen als gevolg van conditieafwijkingen van de productielijn zijn equivalent met 65% van de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten. De totale onderhoudsgerelateerde, niet zichtbare, onderhoudskosten bedragen in dit geval bijna het dubbele (185%) van de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten. De onderhoudsgerelateerde kosten zijn echter vrijwel nooit expliciet bekend: deze zijn verborgen in de productiekosten (voor onderhoud door productiepersoneel in productieloonkosten), in afschrijvingen (voor extra productiecapaciteit ter compensatie van de onderhoudsgerelateerde productieverliezen) en in de productkosten (voor afkeur-, declassatie- en herbewerking van producten). Daarmee bedragen voor de onderzochte situatie de integrale onderhoudskosten bijna het drievoudige van de feitelijke onderhoudskosten.

De omvang van de onderhoudsgerelateerde kosten is in veel situaties zodanig, dat het wenselijk is deze te registreren en te rapporteren. De productieregistratie is in de regel niet ingericht om eerstelijns onderhoud te rapporteren. Productieverliezen worden veelal geregistreerd, maar de toerekening naar verantwoordelijkheid, in dit geval naar onderhoud, vindt vaak niet plaats. Onderhoudsgerelateerde productieverliezen worden vrijwel nooit gerapporteerd in de vorm onderhoudsafhankelijke kosten. De bedrijfsadministratie is meestal niet in staat om het stilstandtarief van primaire TS te verschaffen.

Achterstallig onderhoud als gevolg van uitstel of soms afstel van preventief onderhoud zijn eveneens niet zichtbare onderhoudsgerelateerde kosten. Meestal ontstaat dit geleidelijk als gevolg van voortdurend verlagen van het onderhoudsbudget. Dit kan na verloop van tijd leiden tot toename van VGM-incidenten en -calamiteiten, onderhoudsgerelateerde productieverliezen en tot machineschade van soms grote omvang. Het wegwerken van achterstallig onderhoud gebeurt nogal eens als onderdeel van investeringsprojecten. De kosten van achterstallig onderhoud zijn in de regel een veelvoud van de gerealiseerde besparingen op de onderhoudskosten.

Niet meetbare onderhoudsgerelateerde kosten zijn bijvoorbeeld irritatie bij productiepersoneel vanwege frequent optredende storingen en defecten. De hierdoor optredende demotivatie en daaruit voortvloeiend passief gedrag (soms zelfs sabotage) zou wel eens een aanzienlijke invloed kunnen hebben op de kosten en TS-prestaties. Dit is echter moeilijk aan te tonen en er zijn geen resultaten van onderzoek hiernaar bekend.

### **1.3 Externe invloeden op de onderhoudsfunctie**

Er zijn een aantal omgevings-, markt-, klant- en bedrijfsinterne factoren, die van invloed zijn op de onderhoudsfunctie. De externe factoren die in dit verband zullen worden besproken zijn achtereenvolgens: wettelijke eisen, klanteneisen, levertijd, kwaliteit en kosten. De invloed van deze factoren op de producten, de productie, de productiemiddelen en uiteindelijk op het onderhoud zijn in Tabel 1.3 nader aangegeven en zullen hieronder nader worden toegelicht.

#### *1.3.1 Wettelijke eisen*

Wettelijke eisen voor veiligheid, gezondheid en milieu (VGM), door de overheid aan bedrijven opgelegd, zijn in de loop der tijd aangescherpt. Deze eisen kunnen betrekking hebben op productveiligheid, zoals voor de voedingsmiddelen en de farmaceutische industrie. Het niet voldoen aan deze eisen kan, ingeval van incidenten en calamiteiten, grote consequenties hebben op aansprakelijkheid, reputatie en op continuering van de bedrijfsvergunning of op de “License to Operate” (LtO). Wettelijke eisen zijn eveneens van toepassing op de proces- en bedrijfsvoering, op personele en op externe (milieu) veiligheid.

De eigenaar zal, door het uitvoeren van risico- en storingsanalyses tijdens de ontwerp- en in de gebruiksfase (ingeval van wijzigingen) moeten aantonen dat blijvend wordt voldaan aan de gestelde overheidseisen. Ten aanzien van de productiemiddelen dient de integriteit van de TS te zijn geborgd. Procesbesturingssystemen spelen een belangrijke rol in het handhaven van de vereiste veiligheidsniveaus “Safety Integrity Levels” (SIL), door instrumentele beveiligingen.

Circa 40% van de incidenten en calamiteiten in de industrie zijn onderhoudsgerelateerd (Moll, 1994). Daarom is personele veiligheid in onderhoud van belang en onderwerp van een aantal wettelijke eisen. Een voorbeeld hiervan zijn de NEN-3140 en NEN-50110 die eisen stellen aan de kennis en opleiding van personeel dat bepaalde handelingen mag verrichten aan elektrische installaties als “Voldoend Onderricht Persoon” (VOP). Een ander voorbeeld is het kunnen uitvoeren van “Taakrisicoanalyses”

(TRA) vóór karweiuitvoering. Daarnaast worden specifieke eisen worden gesteld aan de veiligheid bij de inzet van derden met de “Veiligheid, Gezondheid en Milieu Checklist Aannemers” (VCA).

	PRODUCT	PRODUCTIE	PRODUCTIE-MIDDEL	ONDERHOUD
WET-TELIJKE EISEN	Productveiligheid Wettelijke Aansprakelijkheid Reputatie, LtO	Procesveiligheid Risikoanal & evaluatie Storingsanalyse	TS-Integriteit Proces besturings-systemen Instrumentele beveiliging	VCA, TRA Inspectie regiem Risk Based Inspection
KLANTEN EISEN	Product-differentiatie < Time-to-Market Serieverkleining	Push >> Pull Voorraad >> Orderproductie Planningsflexibiliteit	In/omstel-baarheid SMED, FPA First-time-Right	Operatortraining First Line Maintenance
LEVERTIJD	< Levertijden > Leverstiptheid	Supply Chain Management Demand Chain Management ERP-Systemen	Beschikbaarheid Bedrijfszekerheid Vrije capaciteit	Stilstands planning Onderhouds-concept RCM
KWALITEIT	> Kwaliteitseisen < Product toleranties Boeteclausules	Kwaliteits-systeem Werkprocessen Continu verbeteren	Machine/Proces besturings-systemen Configuratie Management	Conditie & prestatie bewaking, health monitoring
KOSTEN	Wereldconcurrentie Wereldmarktprijzen Continuïteit	Benchmarking KPI Continu verbeteren	> Benuttinggraad Debottle Necking > Levensduur	Eliminatie van PK & KD, Maintenance Engineering > Arbeids-productiviteit

Tabel 1.3 Externe invloeden op de onderhoudsfunctie.

Onderhoud draagt de zorg voor het handhaven van de vereiste integriteit van de TS over de gehele levensduur. Voor insluitsystemen zoals vaten en leidingen onder druk dient een wettelijk inspectieregime te worden ontwikkeld volgens het Besluit Drukapparatuur. Daartoe is kennis vereist van degradatiemechanismen en de verwachte effecten ervan over de levensduur. Hiervoor zijn methoden ontwikkeld die bekend staan als “Risk Based Inspection” (RBI).

De meeste bedrijven zien het voldoen aan de wettelijke eisen, of zelfs meer dan dat, als een primaire strategische doelstelling; een voorwaarde voor continuïteit van de onderneming, de License to Operate.

### 1.3.2 Markt- en klanteneisen

De afnemersmarkt heeft zich ontwikkeld van een producenten- naar een consumentenmarkt. Bedrijven moeten beter en sneller inspelen op de wensen van de markt en van klanten in een concurrente omgeving. In vele markten en bedrijven is naast productinnovatie en een kortere “time-to-market” sprake van toenemende productdiversificatie als gevolg van meer genuanceerde klanteneisen. Dit leidt tot serieverkleining van productieruns of -batches.

Eén van de gevolgen van bovenstaande ontwikkeling is een verschuiving van “Technology Push” naar “Market Pull”. Voor vele bedrijven heeft dit geleid van productie op voorraad naar productie op (klant) order. Daarnaast zien we in bepaalde markten een verschuiving van bulkproducten naar specialiteiten optreden, omdat de hiervoor vereiste kennis groter is en de marges naar verhouding hoger. Bovengenoemde ontwikkelingen stellen hogere eisen aan de planningsflexibiliteit van de productiefunctie en aan de wendbaarheid van de organisatie en het personeel.

In vele bedrijven zijn daardoor traditionele planningsmethoden zoals “Material Requirements Planning” (MRP I), “Manufacturing Resources Planning” (MRP II) vervangen door pull-systemen zoals “Just in Time” (JIT) en “Kanban”. (Monhemius, 1985; Botter, 1985).

Grotere planningsflexibiliteit en serieverkleining leiden voor de productiemiddelen tot hogere eisen aan de in- en omstelbaarheid van de TS en het kunnen verwerken van producten met ruimere specificatiemarges. Omsteltijden zijn vaak sterk gereduceerd, de reproduceerbaarheid daarvan vergroot. Tevens worden de uit- en aanlooptijden bij productwisseling en de daaraan gerelateerde productverliezen beperkt, “First Time Right”. Verhoging van flexibiliteit en verkorting van omsteltijden is onderwerp van methoden die worden aangeduid met “Flexibele Productie Automatisering” (FPA) en “Single Minute Exchange of Die” (SMED) (Shingo, 1996).

Meer aandacht is vereist voor training van productiepersoneel voor het in- en omstellen van de TS en het observeren van (potentiële) verstoringen. Daarvoor is meer kennis vereist van de interactie tussen producteigenschappen/-specificaties, procesparameters en de TS-conditie. Dit zijn elementen van onderhoud door operators, het eerstelijns onderhoud of “First Line Maintenance” (FLM).

### 1.3.3 Levertijd

De eisen vanuit de markt hebben voorts betrekking op levertijdverkorting en hogere leverstiptheid. De consequenties van het niet realiseren daarvan zijn boetes, het verlies van orders of in het ergste geval, verlies van klanten. Voor productie leidt dit tot hogere eisen aan de productieplanning en de voortgangsbewaking van klantorders. Hiervoor worden de hierboven aangegeven planningsmethoden toegepast, maar daarnaast wordt de toeleverketen beter beheerst door toepassing van “Supply Chain Management” (SCM) principes. Er vindt eveneens integratie plaats aan de afnemerszijde, in de vorm van “Demand Chain Management” (DCM). De productieplanning met de klantorders, gereede producten en eventuele voorraden, de distributie van de producten in de afnemersketen en daarnaast de behoefte aan en voorraden van grondstoffen of halffabrikaten wordt ondersteund door “Enterprise Resource Planning” (ERP) systemen.

Toepassing van deze methoden stelt als voorwaarde een hoge beschikbaarheid en bedrijfszekerheid van de productiemiddelen. Ook in situaties waarbij gemiddeld sprake is van onderbezetting van de productiecapaciteit, is een hoge beschikbaarheid en bedrijfszekerheid vereist. Dit om gedurende de vereiste periode voluit en ongestoord te kunnen produceren, ten einde de afgesproken levertijd te kunnen realiseren. Soms



wordt, om te kunnen inspelen op korte termijn marktfragen, een bepaalde vrije capaciteit gereserveerd.

Bovenstaande eisen betekenen dat moet worden beschikt over inherent bedrijfszekere TS, waardoor hoge eisen worden gesteld aan het onderhoudsconcept om deze bedrijfszekerheid op het vereiste niveau te kunnen handhaven. Hierbij is het van belang het onderhoudsconcept zodanig in te richten, dat risico's van te late levering en de aard en omvang van het preventieve onderhoud zorgvuldig en evenwaardig worden afgewogen tussen de productie- en onderhoudsverantwoordelijkheden. Daartoe zijn methoden ontwikkeld zoals "Reliability Centred Maintenance" (RCM) om het voor die situatie noodzakelijke preventieve onderhoud te kunnen bepalen.

#### 1.3.4 *Kwaliteit*

De klanteneisen die worden gesteld aan productkwaliteit nemen toe en de toleranties waarbinnen productspecificaties moeten blijven, nauwer. De consequenties van het niet voldoen aan de kwaliteitseisen zijn door boeteclausules en verlies van klanten steeds groter.

Afnemers scheppen een zo groot mogelijke zekerheid dat de leverancier zal voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen. Hiertoe moet de leverancier aantonen dat zijn kwaliteitssysteem aan de gestelde eisen voldoet. De kwaliteitssystemen hebben betrekking op borging van de kwaliteit van het product, op de voortbrengingsprocessen, de conditie van de TS en op de ontwerpprocessen van het product en de TS die deze vervaardigen. De bevestiging dat het kwaliteitssysteem aan minimale eisen voldoet, vindt plaats met verificatie en certificatie door onafhankelijke instituten, tegen de achtergrond van de NEN-ISO 9000-2000 of vergelijkbare normen. Als onderdeel van certificatie, dienen de procedures en organisatie te worden beschreven. De eisen die vanuit de kwaliteitsborging en in het bijzonder vanuit de NEN-ISO 9000-2000 serie worden gesteld aan de onderhoudsfunctie zijn relatief beperkt en onvolledig (Smit, 1990).

Traditioneel worden werkprocessen in de vorm van gedetailleerde procedures beschreven. Tegenwoordig beschrijven veel ondernemingen hun werkprocessen op een hoger niveau, waarbij vooral aandacht wordt geschonken aan de besturing en beheersing ervan, de daarin te vervullen functies en rollen en de hiervoor vereiste informatie. Daarnaast is er nu, na eerdere toepassing van kwaliteitscirkels, Kaizen, e.d. meer aandacht ontstaan voor continu verbeteren door toepassing van Lean Manufacturing en 6-sigma methoden.

Nieuwe generaties machine- en procesbesturingssystemen vinden een steeds ruimere toepassing binnen de industrie, uitgerust met fieldbus voorzieningen, sensoren en "smart-transmitters". Deze maken het o.a. mogelijk product-, proces- en conditieparameters in combinatie te bewaken. Dit komt niet alleen ten goede aan de beheersing van de productkwaliteit. Daarnaast wordt het werkproces wijzigings- en documentatiebeheer, "Management of Change" (MoC) of het configuratiemanagement beter ingericht. Hiermee wordt de "As-Build" status van documentatie en informatie beter in stand gehouden.

Voor het handhaven van de kwaliteitseisen van producten, processen en de productiemiddelen wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheden van mechanisering en automatisering, waarbij menselijke tussenkomst steeds verder wordt uitgeschakeld. Wijzigingen van product-, proces- en TS-specificaties moeten kritisch worden beoordeeld door alle betrokken functies en de documentatie en informatie dienovereenkomstig en tijdig worden aangepast. Dit stelt eisen aan de inrichting van het configuratie management of wijzigingsbeheer van product-, proces-, TS-, bedrijfsvoerings- en onderhoudsspecificaties.

Handhaving van de kwaliteitseisen stelt voorwaarden aan de vereiste TS conditie. Deze dienen te worden vertaald naar het hiervoor noodzakelijke preventieve onderhoud, dat de vereiste veiligheid, beschikbaarheid, bedrijfszekerheid en conditie moet waarborgen. Moderne machine- en procesbesturingssystemen spelen een toenemende rol in ondersteuning voor preventief onderhoud, niet alleen voor conditiebewaking, maar ook voor TS-prestatiebewaking en “health monitoring” met behulp van procesparameters. De mogelijkheden voor bewaking en calibratie van componenten op afstand wordt, door de fieldbus- en smart transmitters, beter mogelijk. Daardoor nemen de mogelijkheden voor eerstelijns onderhoud toe en mogen we zelfs “maintenance operators” in de controlekamers verwachten, die een belangrijker rol gaan vervullen bij conditie-, prestatie- en health monitoring en bij diagnostiek.

### *1.3.5 Kostprijs*

Door verscherpte concurrentie op wereldschaal staat in de meeste sectoren de productprijs voortdurend onder sterke druk. Door wereldmarktprijzen is de marktprijs bepalend voor de kosten. Hierdoor heeft het handhaven van de winstgevendheid en continuïteit van de onderneming voortdurend aandacht. Er zijn een aantal aandachtsgebieden in dit verband die aandacht verdienen.

Het kapitaal dat is vastgelegd in voorraden grondstoffen, halfproducten, tussen- en eindproducten is in veel bedrijven aanzienlijk. Het reduceren en zelfs elimineren daarvan is een belangrijke besparingsbron. Voorraadverlaging en eliminatie van (tussen) product- en grondstoffenbuffers heeft een toenemende verketening van afzonderlijke productie-eenheden binnen en tussen fabrieken en ondernemingen in voortbrengingsketens tot gevolg. Soms biedt voortschrijdende technologie de mogelijkheid om volgtijdige processen te integreren. Voorbeelden daarvan zijn continu gietmachines en dungietwalsen in de staalproductie. Continu verbeteren van de productieprocessen en product- en procesinnovatie zijn hierbij strategische doelstellingen. Hierbij wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van bedrijfsvergelijking of “benchmarking”, waardoor ondernemingen zich niet alleen intern, maar ook met concurrenten kunnen vergelijken. Op grond daarvan kunnen nieuwe doelstellingen voor kostenreductie en prestatieverbetering worden geformuleerd met behulp van “Kritische Prestatie-indicatoren” (KPI).

Een belangrijk aandachtsveld voor verbetering van het financiële rendement is verhoging van de benuttingsgraad van de productiemiddelen. De benuttingsgraad kan worden verhoogd door vergroten van de volgtijdige en van de gelijktijdige capaciteit van TS. Volgtijdige capaciteitverhoging van TS is in sommige ondernemingen nog

mogelijk door bedrijfstijdverlenging; overgang naar meer ploegen. Vergroting van gelijktijdige capaciteit is realiseerbaar door verminderen van stilstands-, doorzet- en kwaliteitsverliezen. Daarnaast kan de gelijktijdige capaciteit, “name-plate” of maximaal bewezen capaciteit, worden vergroot door “debottlenecking”; het doorvoeren van proces technologische of technische verbeteringen. Een andere mogelijkheid is uitstel van investeringen “investment avoidance” door levensduurverlening van de TS, waarbij kritische TS-delen of subsystemen worden vervangen, gereviseerd of gemodificeerd.

Vermindering van onderhoudskosten is mogelijk door eliminatie van “onderhoudskosten-drivers” (KD) en “prestatie-killers” (PK). Men dient in staat te zijn deze met behulp van het onderhoudsbesturingssysteem (OBS) te identificeren en te selecteren. Daarna is het de opgave van de “maintenance engineering” (ME) functie om de oorzaken van de geselecteerde KD en PK te analyseren en verbetermaatregelen vast te stellen. Daarnaast biedt het vergroten van de arbeidsproductiviteit of “Hands-on-Tool” tijd van technici aanzienlijke besparingsmogelijkheden.

## 1.4 Ontwikkelingen in de onderhoudsfunctie

In voorgaande paragrafen zijn het economisch belang en de invloed van externe ontwikkelingen op de onderhoudsfunctie belicht. In deze paragraaf worden de ontwikkelingen besproken die zich in het onderhoudsvakgebied hebben afgespeeld en nog plaatsvinden (Smit, 2007).

De ontwikkeling van de onderhoudsfunctie in de loop der tijd, kan vanuit verschillende oogpunten worden gekarakteriseerd; organisatorisch, bedrijfszekerheid en preventief onderhoud, procesmatig en beheersmatig, etc. Hier wordt de ontwikkeling van onderhoud in de tijd, als achtereenvolgende fasen: onderhoudsmanagement, onderhoudstechnologie en onderhoudsbewust ontwerpen, vanuit de onderhoudswerkprocessen beschouwd.

- Onderhoudsmanagement is gericht op het beheersen en doelmatige inzet van de middelen waarmee onderhoud wordt uitgevoerd. De grondslagen hiervoor zijn in de 50-er tot 70-er jaren van de vorige eeuw gelegd. De primaire doelstelling van onderhoudsmanagement is minimalisering van de jaarlijkse onderhoudskosten bij een gegeven werkaanbod dat wordt bepaald door het gevoerde onderhoudsconcept. Een belangrijk kenmerk van deze fase is het vastleggen van onderhoudsgegevens, waardoor inzicht in het onderhoudsgedrag van de TS mogelijk wordt.
- Onderhoudstechnologie is de volgende fase in de ontwikkeling van het onderhoud die is gestart in de 70-er jaren van de vorige eeuw en op dit ogenblik nog steeds actueel. Onderhoudstechnologie is gericht op het verbeteren van de effectiviteit van het onderhoud door het verbeteren van de bedrijfszekerheid en het optimaliseren van het onderhoudsconcept van technische systemen.

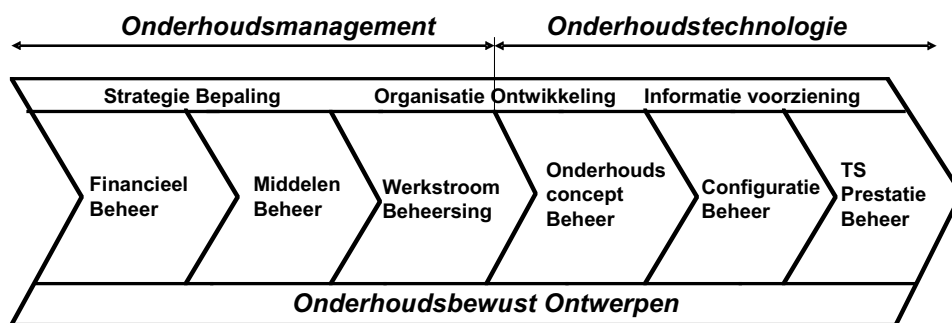
De doelstelling van deze fase is het minimaliseren van de integrale onderhoudskosten, de som van de onderhouds- en de onderhoudsafhankelijke kosten. Een neven-effect van deze fase is de opbouw van geaggregeerde ervaring over het onderhoudsgedrag van TS, dat bruikbaar is bij het ontwerp en de constructie van nieuwe TS.

- **Onderhoudsbewust ontwerpen**: in deze fase wordt geaggregeerde onderhoudservaring gebruikt en methoden en modellen toegepast in het ontwerp van nieuwe en bij wijziging van bestaande TS. Hierbij wordt een TS ontworpen op gespecificeerd onderhoudsgedrag: veiligheid, bedrijfszekerheid, onderhoudbaarheid en beschikbaarheid. Als onderdeel van het TS-ontwerp, worden de toekomstige onderhoudsmiddelen ontworpen: gedigitaliseerde onderhoudsdocumentatie en informatie, het onderhoudsconcept met de initiële reservedelen en de product- of gebruikersondersteuning.

De doelstelling van deze fase is minimaliseren van de levensduurkosten van een technisch systeem, bestaande uit de initiële investering en de som van de exploitatiekosten, of in engere zin de onderhoudskosten, over de geplande levensduur van het TS. Deze fase is in bepaalde sectoren zoals de luchtvaart en bij wapensystemen al ver ontwikkeld, maar leent zich in aangepaste vorm voor toepassing in de industrie. Overigens is het wenselijk beschikbare eventuele eigen projectengineering capaciteit ook aan te wenden voor onderhoud.

Achtereenvolgens wordt nader ingegaan op ieder van de hierboven genoemde fasen, volgens welke de onderhoudsfunctie zich in de loop der tijd heeft ontwikkeld.

Voor iedere volgende fase is de voorgaande fase een voorwaarde tot ontplooiing ervan. Bepaalde ontwikkelingen in een volgende fase, vragen soms herbezinning op de voorgaande fasen. Een voorbeeld hiervan is de huidige wenselijkheid voor het verhogen van de arbeidsproductiviteit als onderdeel van de onderhoudsmanagement fase, terwijl een bedrijf bezig is met ontwikkelingen in de onderhoudstechnologie fase. Van iedere fase worden hierna de belangrijkste aspecten besproken in de vorm van de inrichting van de werkprocessen. Dit zal worden gedaan aan de hand van de toegevoegde waardeketen van Porter (Porter 1985), zie Figuur 1.3.



Figuur 1.3 Toegevoegde waardeketen van onderhoud.

#### 1.4.1 Onderhoudsmanagement

Zoals eerder vermeld, is het doel van de fase onderhoudsmanagement een doelmatige uitvoering van het werkaanbod. Dit wordt gerealiseerd door de werklust uit te voeren met een minimum aan middelen: personeel, materialen en faciliteiten. De werkprocessen die hierbij een rol spelen worden achtereenvolgens besproken.

### Werkstroombeheersing

Het loonkostenaandeel van de onderhoudskosten bedraagt in het algemeen 70-80 %. Het is daarom van belang de arbeidsproductiviteit van onderhoudspersoneel op een voldoende niveau te brengen. Daartoe dienen vermijdbare wacht-, verlies- en looptijden tot een minimum te worden beperkt door specificatie, werkvoorbereiding en planning van de uit te voeren werkzaamheden.

Een voorwaarde daarvoor is een aanzienlijk aandeel planbaar werk, dat kan worden verkregen door het gevoerde onderhoudsconcept van de TS. Weliswaar is het primair doel van het onderhoudsconcept het handhaven van het vereiste niveau van de bedrijfszekerheid van de TS. Een neveneffect daarvan is echter, het genereren van planbaar werk.

Het proces werkstroombeheersing kan worden onderscheiden in drie deelprocessen die verschillend van aard zijn. Achtereenvolgens zijn dit de storingsmatige-, de routinematige- en de projectmatige deelprocessen.

Voor de werkstroombeheersing zijn, ongeacht de aard van het deelproces, in principe de volgende voorzieningen vereist. Dit betreft de beoordeling van werkaanvragen, de acceptatie en autorisatie, de technische en administratieve werkvoorbereiding. De planningsfunctie is voor ieder van de deelprocessen onderscheiden. Een escalatie-procedure voor de storingsmatige werkstroom, orderplanning voor de routinematige werkstroom, projectplanning voor de projectmatige werkstroom en capaciteitsplanning per vak- of capaciteitsgroep voor de drie deelprocessen gecombineerd.

Ontwikkelingen m.b.t. het werkstroombeheersingsproces zijn: de opbouw van repeterende werkopdrachtbestanden, het (beter) gebruik van begrotings- en calculatienormen, het toepassen eenvoudiger planningshulpmiddelen en betere communicatie- en informatieoverdracht tussen opdrachtgevers en leveranciers.

### Middelenbeheer

Het werkproces middelenbeheer heeft betrekking op het beheer, de voorziening en inzet van middelen die zijn vereist voor de uitvoering van onderhoud. Deze middelen zijn reservedelen en materialen, faciliteiten zoals materieel en gereedschappen, leveranciers van artikelen en diensten en de vak- of capaciteitsgroepen van eigen TD-personeel waarbij kennis, competenties, training, loopbaanplanning, etc. een rol spelen.

Ontwikkelingen binnen de deelprocessen van het werkproces middelenbeheer is besparing op voorraad- en inkoopkosten door het gebruik van afroepcontracten, automatische bestelsystemen en het uitbesteden van voorraden en magazijnen aan leveranciers. Dit leidt tevens tot beperking van het aantal leveranciers (bundel- of bulkleveranciers), die in een groot deel van de vereiste bestel en voorraadartikelen kan voorzien. Een belangrijk aandachtspunt is “obsolescense monitoring”, het waarborgen dat toekomst voorziening van reservedelen blijft gewaarborgd.

Het beheer van personeel, heeft betrekking op TD-specifieke aspecten, zoals opleidingen en certificatie van personeel. Van groot belang is het bewaken van vereiste en beschikbare kennis en competenties van eigen personeel en dat van derden. Hiermee kan

de toewijzing van personeel op bepaalde karweien worden beoordeeld, functieprofielen en opleidingsplannen worden ontwikkeld. Bij personeel dat de onderneming verlaat is het wenselijk dat er tijdig inzicht bestaat in de ervaringskennis die wegvloeit en dat zorg wordt gedragen voor vervanging daarvan. Veelal vindt dit veel te laat plaats en bij bezuinigingsrondes wordt te weinig aandacht geschonken aan kritische competenties, die ongezien wegvloeien.

### Financieel beheer

Onderhoud, modificaties en investeringsprojecten vereisen ieder een eigen vorm van financieel beheer en dit is vaak aan verschillende personen toegewezen. Regelmatig worden modificaties uitgevoerd en soms investeringsprojecten gecompleteerd vanuit het onderhoudsbudget. Het beheersen van kosten vindt plaats door jaarlijkse budgettering, periodieke kostenrapportages tegenover het budget en door periodieke evaluatie en bijsturing. Daarnaast vindt beheer plaats van (onderhouds) contracten.

Er zijn enkele ontwikkelingen op het gebied van financieel beheer van onderhoud te onderkennen. Traditioneel wordt onderhoud gebudgetteerd door extrapolatie van budgetten van voorgaande jaren, naast vaak langdurige kostenreductie en soms door rigoureuze bezuiniging. In toenemende mate wordt gebruik gemaakt van “zero based budgetting”, waarbij wordt uitgegaan van onderhoudsbehoefte vanuit geregistreerde onderhoudshistorie op het niveau van TS-componenten, in relatie tot het gevoerde onderhoudsconcept. Daarnaast valt te verwachten dat aandacht gaat ontstaan naar inzicht in levensduurkosten, dat noodzakelijk is voor vervangingsbeslissingen en voor afwegingen en keuzes in de ontwerpfasen van TS.

Er kan worden vastgesteld dat de beheersing van onderhoud vanuit financieel oogpunt, geleidelijk verandert van “input-sturing” d.m.v. de budgetten, naar “output-sturing” vanuit de vereiste TS-prestaties. Bij input-sturing (knijp-piep systeem) is onduidelijk wat de effecten zijn op eventueel achterstallig onderhoud, toenemende storingen en afnemende TS-prestaties. Bij output-sturing is het uitgangspunt de vereiste TS-prestaties, die worden vertaald naar het hiervoor noodzakelijke onderhoudsconcept, dat vervolgens bepalend is voor de middelenbehoefte en het budget. Daardoor is de TD beter in staat om de consequenties van omvangrijke kostenreducties inzichtelijk te maken. Hiervoor is wenselijk dat de financiële functie informatie verschaft over dervingskosten per eenheid product(ie), zodat de TD in staat is de onderhoudsafhankelijke kosten te bepalen. Dit vindt nu nog vrijwel niet plaats.

Naast het financiële beheer met behulp van budgetten en kostenrapportages, is het ook noodzakelijk contracten voor garantie- en uitbesteding te beheren. Vooral bij hogere contractvormen zoals resultaat- en prestatiecontracten, stelt dit hogere eisen aan de registratie en rapportage van geleverd werk, leverancier- en TS-prestaties.

Strategiebepaling, organisatieontwikkeling en informatieplanning zijn bovenliggende werkprocessen die van toepassing zijn voor de drie genoemde fasen. Hierin worden de doelstellingen, beleid en plannen voor de onderhouds- en engineeringfuncties geformuleerd, de inrichting van de organisatie en de maatregelen op het gebied van de informatievoorziening geformaliseerd en tot realisatie gebracht.

Uitzonderingen daargelaten, voldoen de meeste TD-organisaties aan de minimale eisen waaraan de werkprocessen, besturing- en beheersing, organisatie en informatie moeten voldoen van de eerste fase, het onderhoudsmanagement. Er zijn hierboven een aantal ontwikkelingen aangegeven, die het noodzakelijk maken het onderhoudsmanagement op een hoger niveau te brengen.

#### *1.4.2 Onderhoudstechnologie*

De tweede fase in de ontwikkeling van onderhoud, de onderhoudstechnologie, is gericht op de realisatie en verbetering van de effectiviteit van het onderhoud. Deze komt tot uitdrukking in mate waarin het onderhoudsgedrag van een TS voldoet aan de gestelde eisen: wettelijke VGM-eisen, beschikbaarheid en bedrijfszekerheid. De consequenties van niet-effectief onderhoud zijn door onderhoud beïnvloedbare calamiteiten, incidenten en productieverliezen, uitgedrukt als onderhoudsafhankelijke kosten. Het primaire doel van de fase onderhoudstechnologie is de integrale onderhoudskosten te minimaliseren. De fase onderhoudstechnologie bestaat uit de werkprocessen: TS-prestatiebeheer, configuratiebeheer en onderhoudsconcept beheersing. Deze zullen hieronder nader worden besproken.

##### TS-prestatiebeheer

Dit werkproces heeft tot doel de vereiste TS-prestaties vast te stellen en de realisatie daarvan te registreren, rapporteren en evalueren. Daartoe is het noodzakelijk te beschikken over te stellen normen voor de TS-prestaties. Hiertegen kan de realisatie daarvan worden beoordeeld en de afwijkingen vastgesteld. De belangrijkste onderhoudsgerelateerde TS-prestatieverliezen worden “Prestatie Killers” (PK) genoemd. Deze komen in aanmerking voor nadere analyse van de oorzaken ervan en eliminatie of reduceren van de gevolgen.

##### Configuratiebeheer

De configuratie van een TS is de in documentatie en informatie vastgelegde functionele en technische status van een TS en de elementen waaruit het is samengesteld; de configuratiestatus of ook wel “As-Build” status genoemd. Deze dient overeen te komen met de feitelijke fysieke staat. Wanneer een TS in fysieke zin wordt gewijzigd, de wijze van proces- of bedrijfsvoering of het gevoerde onderhoudsconcept, dan dienen deze wijzigingen te worden beoordeeld op mogelijke consequenties. Indien deze consequenties acceptabel zijn, dan wordt een wijzigingsvoorstel geautoriseerd en vervolgens geïmplementeerd. Vervolgens zullen de wijzigingen in alle daarop betrekking hebbende documentatie en informatie moeten worden doorgevoerd. Dit betreft tekeningen, schema's, specificaties, voorschriften, onderhoudsconcepten, reservedelen, repeterende werkopdrachten, etc. Het in “As-Build” status brengen van de documentatie en informatie, als deze afwijkt van de realiteit, blijkt in de praktijk een kostbare zaak te zijn.

Er zijn software hulpmiddelen beschikbaar, met behulp waarvan de deelprocessen wijzigings- en documentatiebeheer kunnen worden ondersteund. Deze staan bekend als “Product Data Management” (PDM), of ook als “Life Cycle Management” (LCM).

### Onderhoudsconcept beheer

Het werkproces onderhoudsconcept beheer bestaat uit drie deelprocessen: diagnostiek, storingseliminatie en onderhoudsconcept optimalisering.

Diagnostiek is het opsporen en vaststellen van de locatie en de primaire oorzaak van een opgetreden storing. Door toename van de complexiteit van de technische systemen, is meer tijd nodig voor het lokaliseren van storingen en daarmee worden de onderhoudsaf-hankelijke kosten hoger. Om deze te reduceren kunnen maatregelen worden genomen die de diagnostiek ondersteunen, bijvoorbeeld door training van monteurs, het aanbrengen van signalerings- en testvoorzieningen en het gebruik van proces- en machine besturingssystemen voor dit doel.

Storingseliminatie is gericht op het vaststellen van de oorzaken en het elimineren van “Prestatie Killers” uit de prestatierapportages en de “Kosten Drivers” uit de kostenrapportages. Voor daartoe geselecteerde TS-elementen wordt een oorzaakanalyse “Root Cause Analysis” (RCA) uitgevoerd. Wanneer de oorzaken van opgetreden (herhalings) storingen zijn vastgesteld, kunnen verbetermaatregelen worden ontwikkeld, die de oorzaken van deze storingen elimineren, of de frequentie of gevolgen ervan beperken. Dit kunnen maatregelen zijn die betrekking hebben op verbetering van het TS, op het gevoerde onderhoudsconcept, maar ook op de proces- of bedrijfsvoering,.

Een fabrikant blijkt in de regel slechts beperkt in staat en wordt daar ook veelal niet toe geprikkeld of verplicht, om een op onderhoudsgedrag gebruik van het TS afgestemd onderhoudsconcept te leveren. Het is daarom een opgave voor de TD van de gebruiker om een onderhoudsconcept te ontwerpen en dit periodiek aan te passen aan verandering in gebruik, geïmplementeerde wijzigingen en aan het onderhoudsgedrag van het TS. Daartoe is informatie nodig over de TS-prestaties en de onderhoudshistorie. In veel TD heeft dit geleid tot functies die wel worden aangeduid als: installatiebeheerder, onderhoudstechnoloog, maintenance-, equipment-, reliability- of machinery engineer. Voorts staan voor de vaststelling en bijsturing van het onderhoudsconcept van TS methoden zoals “Reliability Centred Maintenance” (RCM) en “Risk Based Inspection” (RBI) en daarvoor ondersteunende softwarehulpmiddelen ter beschikking. Een belangrijke ontwikkeling in preventief onderhoud is de toepassing van conditie-, prestatie- en “healthmonitoring” systemen en het gebruik van proces- en machine besturingssystemen voor dit doel.

Voor de bovengenoemde registratie, rapportage en analyse van onderhoudsgedrag van TS zijn “Onderhoudsbesturingssystemen” (OBS) onontbeerlijk. Deze dienen te zijn ingericht voor de selectie van TS-elementen naar verschillende criteria (stilstandsduur, frequentie, kosten, storingsgraad, onderhoudskosten of -manuren). In veel organisaties is de onderhoudstechnologische functie in de TD-organisatie opgenomen, de werkprocessen zijn echter in mindere mate ingericht en de toegankelijkheid van historische data laat veelal nog te wensen over.

Het resultaat van regelmatige storingsanalyse en onderhoudsconcept optimalisering is, dat op den duur inzicht ontstaat in zwakke componenten, de belangrijkste degradatievormen en de oorzaken ervan. Deze geaggregeerde onderhoudservaring leent zich voor

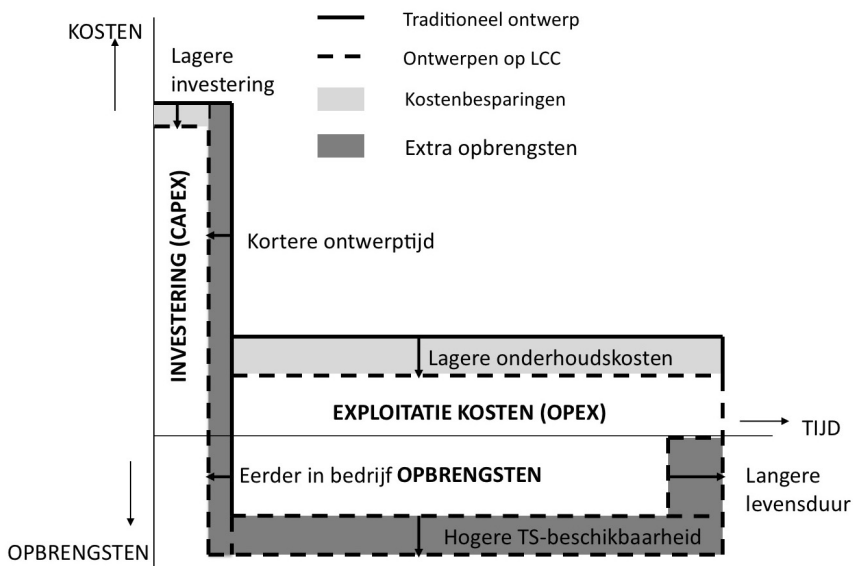


terugkoppeling naar de ontwerp- of engineeringfase, teneinde een technisch systeem onderhoudsbewust te ontwerpen.

### 1.4.3 Onderhoudsbewust ontwerpen

Deze derde fase in de ontwikkeling van de onderhoudsfunctie is gericht op het ontwerpen van TS op gespecificeerd onderhoudsgedrag en het ontwikkelen van een initieel onderhoudsconcept voor het handhaven van dit gedrag tijdens de gebruiksfase van het TS. Het doel van deze fase in de onderhoudsontwikkeling is het minimaliseren van de levensduurkosten: de som van de initiële investering en de exploitatiekosten over de levensduur van het TS.

In Figuur 1.4 is dit tot uitdrukking gebracht. Het keuze- of optimaliseringsvraagstuk is hierbij de afweging tussen de hoogte van de investering of “Capital expenditure” (Capex) en de toekomstige exploitatiekosten of “Operational expenditure” (Opex). De keuze van componenten met een hogere bedrijfszekerheid, aandacht voor de onderhoudbaarheid, het al tijdens de ontwerpfase ontwikkelen van het onderhoudsconcept en de tijdige en volledige voorziening van de vereiste toekomstige onderhoudsdocumentatie en informatie, leidt in de regel tot een hogere investering. Deze hogere investering moet worden terugverdiend door eerdere in bedrijfname, lagere onderhouds- (en exploitatie) kosten, door hogere opbrengsten als gevolg van een hogere TS-benuttingsgraad en een langere economische levensduur.



Figuur 1.4 Onderhoudsbewust ontwerpen.

De stelling is verdedigbaar, dat onderhoudsbewust ontwerpen zelfs leidt tot een kortere projectdoorlooptijd en lagere investering. Dit als gevolg van minder, vaak kostbare en doorlooptijdverlengende ontwerpwijzigingen in een laat stadium van het project.

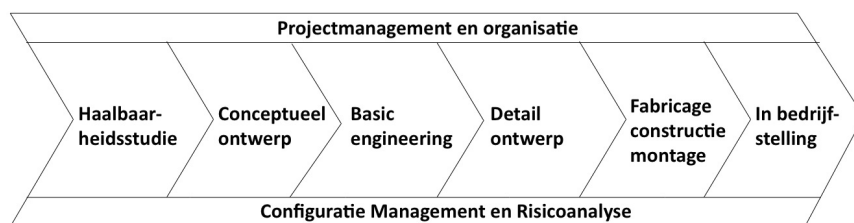
In de praktijk zijn de verantwoordelijkheden voor exploitatie (onderhoud) en nieuwbouw (project- of engineeringfunctie) veelal gescheiden. Beide functies hebben in feite

strijdige doelstellingen. Nieuwbouw wil het project binnen het (vaak te lage) budget en (veelal te korte) geplande levertijd, realiseren. Dit leidt in de regel tot keuze voor de laagste investering, met als gevolg vaak aanzienlijk hogere toekomstige exploitatie- en onderhoudskosten.

De TD-functie binnen de onderneming, als deze al betrokken is bij een investeringsproject, is nog maar beperkt in staat om met kwantitatief onderbouwde argumenten de keuze voor onderhoudsbewust ontwerpen te motiveren.

Het is daarom wenselijk voorwaarden te scheppen, die deze vorm van suboptimalisatie voorkomen. Deze zullen hieronder worden aangegeven, volgens de werkprocessen het hoofdproces onderhoudsbewust ontwerpen, weergegeven in Figuur 1.5.

De gangbare fasering voor investeringsprojecten kan worden beschouwd als processen, waarvan de specifieke aspecten voor onderhoudsbewust ontwerpen onderdeel vormen. De werkprocessen van de fase onderhoudsbewust ontwerpen volgen voornamelijk die van projectengineering en deze zijn achtereenvolgens: projectmanagement en organisatie, haalbaarheidsstudie, basic engineering, conceptuele engineering, detail engineering en constructie en in-bedrijfstelling.



Business plan	TS-Specificaties	RAMS/LCC	Storingsanalyse	Inspectie	Demonstratie
Capex/Opex	RAMS/LCC	Voorspelling	RAMS verificatie	Documentatie/	RAMS/LCC
Financieel rendement	eisen	Subsystemen	Onderhouds-concept	Informatie Resdln, training	Nawerklijst

Figuur 1.5 Hoofdproces onderhoudsbewust ontwerpen.

### Projectmanagement en organisatie

Het werkproces projectmanagement en organisatie vervult in de derde fase van de ontwikkeling van onderhoud het “onderhoudsbewust ontwerpen” de functies: projectorganisatie en toewijzen van personele capaciteit, de investeringsaanvraag, projectplanning en doorlooptijdbewaking, het opstellen en bewaken van de projectbudgetten en de kostenrapportages. Om onderhoudsbewust ontwerpen te realiseren, dienen een aantal organisatorische maatregelen te worden genomen. Deze hebben o.a. betrekking op het zekerstellen van de onderhoudsinbreng in de verschillende projectfasen, participatie in “ontwerpevaluaties” en goedkeuring, bevriezen en vrijgave van engineering (tussen) producten aan het einde van iedere projectfase.

### Configuratiemanagement en risicoanalyse

Het ondersteunende proces configuratiemanagement en risicoanalyse speelt in alle projectfasen een rol van grote betekenis. De basis hiervoor wordt gevormd door de TS-specificaties, in de vorm van een “specificatie boom”. Tijdens de eerste projectfasen zijn dit functionele specificaties en vanaf de detail engineeringfase krijgen deze door materiaal- en componentkeuzes de vorm van technische specificaties. Deze specificaties zijn onderwerp van configuratiemanagement.

In de opeenvolgende projectfasen worden risicoanalyses uitgevoerd. Dit zijn achtereenvolgens business en financiële risicoanalyses in de haalbaarheidsstudie, project risicoanalyse in de conceptuele engineeringfase, procesrisicoanalyse in de basic engineeringfase, technische risicoanalyse in de detail engineeringfase en arbeidsveiligheidsrisico's in de constructie- en de in-bedrijfstellingsfase.

### Haalbaarheidsstudie

In het proces haalbaarheidsstudie wordt de “business case” voor het project ontwikkeld, een beschouwing van verwachtingen van de marktvraag, verkoopprijzen en opbrengsten, tegenover de investering CAPEX, de operationele kosten OPEX en het verwachte financiële rendement. De economische levensduur van het TS wordt bepaald door analyse van de marktverwachtingen, concurrentie en de productlevenscyclus. De technische levensduur dient groter te zijn dan de economische levensduurverwachting.

### Conceptueel ontwerp

In het proces conceptueel ontwerp worden de specificaties op systeemniveau “Top Level Requirements” (TLR) vastgesteld. Deze omvatten tevens de eisen voor het toekomstige onderhoudsgedrag, het onderhoudsconcept in relatie met de procesvoerings- en bedrijfsvoeringsconcepten. Het onderhoudsgedrag heeft betrekking op de specificatie van de vereiste bedrijfszekerheid of “Reliability” (R), de beschikbaarheid of “Availability” (A), de onderhoudbaarheid of “Maintainability” (M) en de wettelijke VGM-eisen of “Safety” (S), kortweg aangeduid met RAMS. Daarnaast kunnen eisen worden gesteld aan de te verwachten levensduurkosten “Life Cycle Cost”, (LCC) of “Cost of Ownership” (CoO) en de toekomstige onderhoudskosten per eenheid product(ie). Deze eisen dienen realistisch en haalbaar te zijn en gebaseerd op inzicht in deze karakteristieken van voorgaande generaties TS en de stand van de technologie en techniek.

### Basic engineering

In het proces conceptuele engineering worden de eisen voor het toekomstig onderhoudsgedrag op TS-niveau vertaald naar eisen op subsysteem niveau (Unit Operations, equipment). Met behulp van computermodellen is het mogelijk voorspellingen te maken over de te verwachten bedrijfszekerheid, onderhoudbaarheid en beschikbaarheid van het toekomstige TS. Daarbij vinden afwegingen en keuzes plaats voor het al dan niet meervoudig uitvoeren van TS-elementen (redundantie) en de selectie van leveranciers voor “Long Lead Items”, TS-elementen met een lange levertijd. Wanneer dat vanuit wettelijke eisen noodzakelijk is, worden technische risico analyses uitgevoerd.

### Detail-ontwerp

In het proces detail engineering worden wettelijk vereiste en operationeel noodzakelijke proces- en technische risicoanalyses uitgevoerd op basis van materiaal- en componentkeuzes. Dit maakt het mogelijk het te verwachten onderhoudsgedrag modelmatig te toetsen tegen de aanvankelijke RAMS-eisen op TS-niveau.

Vervolgens kan het onderhoudsconcept voor het TS worden ontwikkeld. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van eerder genoemde RCM en RBI methoden. Wanneer het onderhoudsconcept is opgesteld, kunnen daarna de initiële reservedelen worden gespecificeerd en de toekomstige onderhoudsdocumentatie worden ontwikkeld. Het is dan mogelijk om schattingen te maken over te verwachten levensduurkosten en op grond daarvan nog ontwerpaanpassingen door te voeren.

### Constructie en in-bedrijfstelling

In het deelproces constructie en in-bedrijfstelling wordt het TS gerealiseerd door fabricage, montage en constructie, volgens de gestelde specificaties. Voorts vindt hier beoordeling van alle TS-elementen plaats, door inspectie, testen en beproeving. De resultaten daarvan dienen als basis voor de TS-overdracht. Deze beoordeling behoort ook betrekking te hebben op de ondersteunende middelen, zoals documentatie en informatie, reservedelen, gereedschappen en faciliteiten en op de opleiding van productie- en onderhoudspersoneel, volgens de oorspronkelijke specificaties. De documentatie en informatie dient "As-Build" te worden opgeleverd. Voor geconstateerde afwijkingen wordt een nawerklijst opgesteld en overeengekomen.

In toenemende mate worden contractuele afspraken gemaakt over demonstratie van het gespecificeerde onderhoudsgedrag door de leverancier tijdens de gebruiksfase. Daarbij toont in feite de leverancier aan dat het systeem, onder de gedefinieerde gebruiksomstandigheden, aan de gestelde eisen van het onderhoudsgedrag voldoet. Indien dat niet het geval is, dient de leverancier maatregelen te nemen om alsnog het gespecificeerde onderhoudsgedrag te realiseren.

Er bestaat tot nu toe weinig inzicht, gebaseerd op praktisch onderzoek, in de verhouding tussen een hogere investering door meer aandacht voor het onderhoudsaspect in de ontwerpfase en de daardoor te realiseren besparingen in de exploitatiesfeer. Een onderzoek hiernaar in een chemische vestiging (Riddell, 1981) heeft voor die situatie aangetoond, dat extra investeringen voor onderhoudsbewust ontwerpen zich 25-voudig terugverdienen door besparingen op de exploitatiekosten gedurende de levensduur van het TS.

Onderhoudsbewust ontwerpen wordt al decennialang nagestreefd, maar de feitelijke toepassing ervan in de industrie is, met uitzondering van bepaalde sectoren zoals luchtvaart- en ruimtevaart, wapensystemen en kernenergie, nog steeds beperkt. De belangstelling hiervoor neemt echter geleidelijk toe, vooral als gevolg van nieuwe contractvormen waarbij Design, Build en het toekomstige Maintenance (DBM) wordt gegund aan een contractalliantie. Een dergelijke samenwerking is gebaat bij minimale levensduurkosten. Toepassing van RAMS en LCC-voorspellingsmodellen en -methoden is daardoor noodzakelijk, waarbij aan de voorwaarden die toepassing daarvan vereisen,

zoals beschikbaarheid van historische onderhoudsinformatie, steeds beter kan worden voldaan.

## 1.5 Ontwikkelingen in de organisatie van het onderhoud

Ondernemingen en bedrijfsorganisaties zijn in de loop der tijd onder invloed van de economie, marktgroei en concurrentie, door maatschappelijke- en sociale ontwikkelingen en gewijzigde inzichten vanuit de organisatiekunde, veranderd en aangepast. Kenmerken van deze ontwikkelingen voor industriële bedrijven zijn: strategische oriëntatie, vergroting van de wendbaarheid, concentratie op kerntaken en productiviteitsverbetering. Deze ontwikkelingen zijn uiteraard ook van invloed op de organisatie van de TD-functie.

### 1.5.1 Ontwikkelingen in de bedrijfsorganisatie

Enkele decennia geleden is, als gevolg van de economische ontwikkeling en door concurrentie op wereldschaal, binnen bedrijven een sterkere strategische oriëntatie ontstaan. Bedrijven produceren niet alleen meer datgene waarin ze goed zijn, maar vooral wat de klanten en de markt wensen. Een omslag dus van verkopen wat je maakt, naar maken wat de klanten en de markt vragen. Als gevolg van deze sterke markt- en klantgerichtheid, zijn de in § 1.2.2 genoemde productdiversificatie en nadruk op productkwaliteit ontstaan. De noodzaak tot productverbetering en -vernieuwing heeft geleid tot een sterker nadruk op productinnovatie. Productgeneraties en -families volgen elkaar in steeds hoger tempo op. Dit stelt eisen aan een kortere “Time-to-Market” van nieuwe producten en aan een grotere wendbaarheid van de bedrijfsorganisatie.

Door de eis van grotere wendbaarheid van organisaties, het sneller kunnen inspelen op veranderende markteisen, zijn o.a. productie-eenheden “Production Units” (PU) van centrale organisaties “Service Units” (SU) ontkoppeld. Internationale ondernemingen hebben zich veelal georganiseerd naar productgroepen “Strategische Business Units” (SBU) met eigen marketing-, verkoop-, ontwikkeling- en financiële functies. De productie-eenheden zijn (productie- en kosten- of zelfs financieel-) resultaat verantwoordelijk, met vaak platte structuren en in onderlinge competitie.

De eerder genoemde strategische oriëntatie en wendbaarheid hebben tevens geleid tot concentratie op kerntaken en het uitbesteden van niet-kerntaken. In relatie tot de vastgestelde kerntaken, is het noodzakelijk de hiervoor vereiste kennis en competenties vast te stellen en daar waar die ontbreken, deze te ontwikkelen. Daarmee heeft kennis- en competentie management haar intrede in de ondernemingen gedaan.

Voor de uitbestede activiteiten is het noodzakelijk hiervoor langere termijn overeenkomsten en relaties te ontwikkelen met minder leveranciers. Daardoor is er meer nadruk komen te liggen op contractontwikkeling en -beheer en op de toepassing van principes zoals “supply-”, “demand-” en ketenmanagement.



Door wereldwijde en zich verscherpende concurrentie is er voortdurende druk op kostenreductie door productiviteitsverhoging en continue verbetering van de werkprocessen ontstaan. In de bedrijven komen deze tot uitdrukking, o.a. door het leggen van

meer verantwoordelijkheden, taken en bevoegdheden (VTB) op lagere niveaus in de organisatie, het creëren van eigenaarschap bij, en “empowerment” van het personeel.

### 1.5.2 Ontwikkeling van de TD-organisatie

Voor bespreking van de ontwikkeling van de TD-organisatie wordt gebruik gemaakt van de eerder besproken ontwikkelingsfasen van de onderhoudsfunctie: onderhoudsmanagement, onderhoudstechnologie en onderhoudsbewust ontwerpen.

Als ontwikkelingsstadia van de TD-organisatie worden onderkend: centrale, decentrale en geïntegreerde TD-organisatie. In Tabel 1.4 wordt hiervan een overzicht gegeven.

<b>Onderhoudsmanagement</b> <i>minimale onderhoudskosten</i>	<b>Onderhoudstechnologie</b> <i>minimale productiekosten</i>	<b>Onderhoudsbewust</b> <b>Ontwerp</b> <i>minimale levensduurkosten</i>
<b>Gecentraliseerde TD-organisatie</b> 	<b>Vaktechnisch beheer</b>	<b>Autonome centrale Engineering</b>
<b>Gedecentraliseerde TD-organisatie</b> 	<b>Technisch Systeem beheer</b>	<b>Gebruikers-betrokken Engineering</b>
<b>Geïntegreerde TD-productie organisatie</b>	<b>Integraal TS-beheer (T-P-M)</b>	<b>Gebruikers-gedreven Engineering</b>

Tabel 1.4 Ontwikkelingen in de organisatie van onderhoud

#### Centrale TD-organisatie

De traditionele organisatievorm van de TD is een gecentraliseerde TD-organisatie op het niveau van een productielocatie of -site. De verantwoordelijkheid hiervoor is op hoog niveau in de organisatie gelegd, veelal nevensgeschikt aan de productieverantwoordelijkheid. In de loop der tijd zijn gecentraliseerde TD deels gedecentraliseerd, naar geografisch gespreide locaties. Deze worden aangeduid als: areas, zones, districten of naar “plants”, fabrieken. De decentrale TD zijn vaak hiërarchisch en functioneel gerelateerd aan de centrale TD, met een operationele relatie naar de productieafdeling die deze ondersteunen.

Onderhoudstechnologie bestond in de traditionele centrale TD voornamelijk uit vaktechnisch beheer. De functie daarvan was het op het vereiste niveau houden van de kennis en ervaring van de onderscheiden vakgebieden en het beheer van functionele aspecten zoals werkinstructies en veiligheid, het bijhouden van technische ontwikkelingen en het beoordelen van leveranciers en afgeleverd werk voor het betreffende vakgebied.

De engineeringfunctie bij de gecentraliseerde TD was vrijwel altijd op concernniveau geplaatst, soms op nationaal niveau en in het geval van ondernemingen met één productielocatie, onder verantwoordelijkheid van de centrale TD. Daar waar de engineering is gecentraliseerd op concern- of nationaal niveau, kan deze worden gekarakteriseerd als een autonoom orgaan. Bij een dergelijke positionering van de engineeringfunctie is er in de regel nauwelijks sprake van uitwisseling tussen onderhoud en engineering. Daarnaast is er vrijwel geen of slechts beperkte betrokkenheid van onderhoud bij nieuwbouw- of uitbreidingsprojecten en bij grote modificaties. Door uitbesteding van investeringsprojecten aan derden is de hierboven beschreven situatie niet verbeterd.

#### Gedecentraliseerde TD-organisatie

In de 80-er en 90-er jaren van de vorige eeuw, is de TD-functie bij veel ondernemingen deels gedecentraliseerd. Hierbij zijn in gedecentraliseerde TD-functies onderdeel geworden van de bedrijfs- of plantorganisatie. In de chemische procesindustrie is de TD-functie in de regel naast de productieverantwoordelijkheid (nevengeschikt) geplaatst en in de discrete productie nogal eens onder de productieverantwoordelijkheid, dus ondergeschikt. In de situatie waar de decentrale TD-functie ondergeschikt is aan productie, staat evenwaardige afweging van korte termijn productie- en lange termijn onderhoudsbelang, onder druk. Geconstateerd wordt dat recent aanvankelijke onder-schikking van de decentrale TD-functie wordt omgebogen naar nevenschikking.

De centrale TD-functie heeft als gevolg van decentralisatie, bij veel ondernemingen geleidelijk de rol van interne toeleverancier gekregen. In eerste instantie in de vorm van gedwongen winkelnering, vervolgens vaak als vrije winkelnering, tegen marktconforme tarieven en in competitie met externe leveranciers. In sommige ondernemingen wordt de centrale rol van de TD recentelijk weer versterkt, terwijl bij andere ondernemingen de centrale TD-functie geheel wordt uitbesteed.

Decentralisatie van de TD-organisatie heeft mede de overgang bewerkstelligd van vaktechnisch beheer naar onderhoudstechnologie. Onderhoudstechnologie komt in bedrijven voor onder functiebenamingen zoals: maintenance engineer, onderhoudstechnoloog, installatiebeheerder of equipment-, machinery- of reliability engineer. Deze TS-beheerfunctie is gericht op storingseliminatie en onderhoudsconcept optimalisering. Deze functie is meestal onderdeel van de decentrale onderhoudsorganisatie en is gericht op de TS. Soms komt deze functie ook voor binnen een centrale TD en is dan vak- of equipmentklasse gericht. Het vaktechnische beheer is tegenwoordig, voorzover nog aanwezig, een functionele verantwoordelijkheid van ondersteunende vaktechnische managers binnen de centrale TD. Voor de elektrotechnische installaties dient er een installatieverantwoordelijke te zijn aangewezen, volgens NEN-3140.

De engineeringfunctie is in deze fase van ontwikkeling van de TD deels gedecentraliseerd en opgenomen in de centrale TD van een productielocatie en soms in een productie eenheid. De noodzaak hiervan is vaak een aanzienlijk aanbod van modificaties en kleine projecten als gevolg van productdiversificatie en continue TS-verbetering. Hierdoor is er rechtstreekse betrokkenheid van onderhoud, productie en proces-

technologie bij modificaties en projecten; hierdoor ontstaat een “gebruikers-betrokken” engineeringfunctie. Deze kan ook ondersteuning leveren ten behoeve van onderhoud.

### 1.5.3 Geïntegreerde TD-organisatie

Onder invloed van de toepassing van sociotechnische organisatieconcepten zoals autonome taakgroepen en zelfsturende teams is in bepaalde bedrijven de decentrale TD functie, soms alleen de storingsdienst, ondergeschikt gemaakt aan productie. De decentrale TD-functie is daarmee geïntegreerd (gekanteld) in de productieorganisatie. Daarmee wordt de verantwoordelijkheid voor het onderhoud bij het productie-management gelegd en het principe van evenwaardige afweging van het korte termijn productiebelang en het lange termijn onderhoudsbelang doorbroken. Soms wordt een productie-eenheid verder wordt gedifferentieerd in autonome- of taakteams voor groepen productielijnen of naar procesfasen. Wanneer de TD-functie “meekantelt”, is het hoogste niveau van technisch beoordelend vermogen binnen een team dat van voorman, eerste monteur of installatiebeheerder. Dit leidt tot situaties waar de voor onderhoud vereiste kennis en ervaring te gering en de kritische omvang van de decentrale onderhoudsgroep te klein wordt. In dergelijke situaties gaan korte termijn productiebelangen overheersen boven het lange termijn onderhoudsbelang.

Onderhoudstechnologie wordt in de geïntegreerde TD-organisatie in breder perspectief geplaatst. Productieverliezen zijn niet alleen beïnvloedbaar door de techniek en het onderhoud, maar ook door bedrijfsvoering, de operators en procesvoering, de proces-technologen en kwaliteit, afwijkingen van grondstoffen, hulpstoffen, halfproducten en bedrijfsvoorzieningen. Voor de analyse van primaire oorzaken van geconstateerde afwijkingen en het ontwikkelen en implementeren van verbeteringen is gezamenlijke aanpak vanuit genoemde functies van groot belang. Samenbrengen van deze functies onder één verantwoordelijkheid wordt wel aangeduid met integraal technisch systeembeheer: technologie-productie-maintenance, gericht op continu verbeteren.

Bovengenoemde ondersteunende continue verbeterfuncties voor productie, technologie en onderhoud, kunnen ook worden belast met de ontwikkeling en uitvoering van modificaties en kleine projecten. Daarnaast kunnen deze verbeterfuncties gestructureerde inbreng van ervaringskennis bij de engineering van grotere projecten verzorgen. Bij een grotere en omvang van modificaties en kleine projecten kan zelfs worden overwogen om enige engineeringcapaciteit binnen de decentrale TD-functie op te nemen. Daarmee kan worden gesproken van gebruikersgedreven engineering.

In de praktijk blijkt dat er niet één organisatievorm de voorkeur heeft. Alle hierboven genoemde structuren komen overigens voor belangrijk deel gerechtvaardigd voor. Tevens vinden verschuivingen plaats, niet alleen van centraal naar decentraal, maar ook andersom. Veel ondernemingen zijn teruggekomen van geïntegreerde organisatievormen. De voorwaarden die moeten zijn vervuld om dit succesvol te laten functioneren, zijn vaak te groot gebleken, zeker voor de rol van de techniek.



## 1.6 Conceptuele benaderingen in het onderhoud

In de loop der tijd zijn een aantal conceptuele benaderingen voor het onderhoudsvakgebied ontwikkeld. Deze raken ook het vraagstuk van de onderhoudsterminologie, dat nog relatief beperkt is ontwikkeld en daar waar beschreven, nog niet algemeen is aanvaard. Achtereenvolgens zullen een aantal benaderingswijzen chronologisch worden beschreven.

### Onderhoud

Door de “Vereniging ten behoeve van Technische en Onderhoudsdiensten” (NVDO), is onderhoud gedefinieerd (NVDO, 1983) als:

“Alle activiteiten die ten doel hebben, TS in de conditie te houden of weer te brengen, die voor hun functie nodig wordt geacht”.

Hierbij worden met “alle activiteiten” zowel de voorbereidende en ondersteunende als de uitvoerende activiteiten bedoeld. Het “in de technische staat houden” slaat op het preventieve onderhoud, terwijl met “terug te brengen” wordt bedoeld het correctieve onderhoud. Met “die nodig wordt geacht voor het door het TS te vervullen functie” is het door de wetgever en door de gebruiker van het TS gespecificeerde niveau van functievervulling. Hierin zijn niet begrepen de technische wijzigingen of modificaties en de niet “één op één vervanging” van TS-elementen.

Deze definitie van onderhoud beperkt zich tot het onderhoud in de gebruiksfase van een TS. Uit voorgaande beschouwingen is echter gebleken dat de onderhoudsbehoefte van een object voor een groot deel wordt bepaald in de ontwerpfase en dat daar al de aandacht voor het toekomstige onderhoudsgedrag dient aan te vangen.

### Instandhouding

Instandhouding is de Nederlandse term voor het Duitse begrip “Instandhaltung”, dat onderhoud betekent. In Nederland wordt dit begrip in enkele organisaties gehanteerd. Het is als volgt gedefinieerd: het op het vereiste niveau houden van de functie van een TS over de gehele levensduur. De functie-eisen kunnen in de loop der tijd aanzienlijk veranderen, waardoor ingrijpende wijzigingen of modificaties aan een TS zijn vereist. Bij wapensystemen wordt daarbij wel gesproken van “Midlife Upgrade” (MLU) programma’s. Instandhouding is daarom een goede term voor het onderhoud inclusief modificaties en vervanging van TS-delen, gedurende de gehele levensduur van een TS, inclusief eventuele levensduurverlengende maatregelen.

### Terotechnologie

In Engeland, waar de aandacht voor onderhoud in de industrie dringend aandacht vereiste, werd in 1968 door het toenmalige “Ministry of Technology” een werkgroep opgericht om aanbevelingen te doen voor het op een hoger plan brengen van het onderhoud op nationale schaal. Als onderdeel van het rapport dat in 1970 verscheen, werd voorgesteld “Terotechnologie” als concept te introduceren (Hewgill, 1979). Terotechnologie is gedefinieerd als:

De combinatie van management, financiële, technische en andere methoden toegepast op fysieke middelen, in het streven naar economische levensduurkosten.

Nb: Terotechnologie heeft betrekking op de specificatie en het ontwerpen van de middelen, alsmede op hun installatie, in bedrijfsname, onderhoud, modificatie en vervanging en met terugkoppeling van informatie over ontwerp, prestaties en kosten.

Hieruit blijkt de aandacht voor de economische afwegingen, waarop keuzes in het onderhoud zijn gebaseerd, het denken in levensduurkosten en de aandacht voor onderhoud in het ontwerp.

De introductie van dit concept vond in eerste instantie plaats door het organiseren van congressen en het verspreiden van documentatie. In 1975 is een “National Terotechnology Centre” opgericht, dat kosteloze diensten aan het bedrijfsleven verleende. Een daartoe ingestelde werkgroep heeft zich gebogen over de wenselijkheid voor verbetering van onderwijs op dit gebied, waaruit aan diverse technische universiteiten “Terotechnology Courses” zijn ontstaan. De bekendste daarvan was een Masterprogramma aan de Universiteit van Manchester. Dit programma omvat onderdelen als: systems engineering, reliability engineering, onderhoudsbewust ontwerpen, vervangingstheorie, materiaalkunde en schadeanalyse, niet-destructief onderzoek en conditiebewaking. In delen van het voormalige Britse Gemene Best (India, Australië) treft men dit in programma’s van technische universiteiten nog wel aan.

Het is echter gebleken dat het concept niet in die mate als aanvankelijk werd verwacht, is overgenomen door de industrie. De oorzaak daarvan is dat het concept nauwelijks is uitgewerkt in de vorm van praktisch hanteerbare methoden. Voorts ontbrak het op dat moment aan inzicht in het onderhoudsgedrag van TS, zoals dat nu mogelijk is met de huidige “Informatie en Communicatie Technologie” (ICT). Niettemin heeft dit concept bijgedragen aan bewustwording van de noodzaak tot de multidisciplinaire en levenscyclusbenadering in het onderhoud.

### Onderhoudsbesturingssystemen

Hoewel dit niet als een concept kan worden gezien, heeft de toepassing van ICT in onderhoud een belangrijke impuls gegeven aan in eerste instantie het onderhoudsmanagement. Voor de ontwikkeling en de invoering van de software was het noodzakelijk de werkprocessen te beschrijven en data te definiëren en te classificeren. Hierbij zijn de eerste modelmatige beschrijvingen van onderhoudswerkprocessen ontstaan (Smit, 1991). Met behulp van de onderhoudsbesturingssystemen werd een betere registratie mogelijk van het onderhoudsgedrag en daarmee toegankelijk voor onderhoudstechnologische rapportages, beoordeling en analyses.

### Installatiebeheer

Door het beschikbaar komen van analyseerbare onderhoudshistorie is er meer aandacht ontstaan voor storingsanalyse, optimaliseren van onderhoudsconcepten en het zichtbaar maken van onderhoudsgerelateerde productieverliezen. In Nederland is het concept voor installatiebeheer of “equipment management” geleidelijk ontwikkeld en in veel bedrijven geïmplementeerd. Hierdoor heeft de onderhoudstechnologie gestalte gekregen

en is er aandacht voor de “Voorkant van het Onderhoud” ontstaan. Geleidelijk zijn er functies zoals installatiebeheerders en maintenance engineers ingevoerd.

In een later stadium (vanaf 1990) zijn meer gestructureerde methoden voor het ontwikkelen en optimaliseren van onderhoudsconcepten in gebruik gekomen. Deze zijn ontleend aan de werkwijze “Maintenance Steering Group” (MSG) werkwijze uit de civiele luchtvaart, zoals “Reliability Centred Maintenance” (RCM) voor roterende apparaten, vanaf 1995 “Risk Based Inspection” (RBI) voor insluitsystemen. Van recenter datum is “Safety Instrumented Systems” (SIS) voor procesbesturings- en beveiligingssystemen.

### Total Productive Maintenance

In de beschrijvingen van concepten op het gebied van onderhoud mag de ontwikkeling van het Japanse “Total Productive Maintenance” (TPM) concept, niet ontbreken. Door het “Japan Institute of Plant Maintenance” (JIPM) is dit concept gepropageerd (Nakajima, 1988). Het is vanaf 1975 ontwikkeld als een logisch vervolg op programma’s zoals kwaliteitscirkels, Kaizen, Integrale Kwaliteitszorg en Zero Defect Programma’s. Vanwege de hoge automatiseringsgraad en de invoering van “Just in Time” productiebeheersing in voornamelijk discrete productiebedrijven, was het wenselijk meer aandacht te schenken aan het realiseren van hogere beschikbaarheid en bedrijfszekerheid van technische systemen. Voor dit doel werden o.a. preventieve onderhoudsmethoden ingevoerd of verbeterd.

Eén van de belangrijkste kenmerken van TPM is dat getracht wordt de kloof tussen productie en onderhoud op het niveau van operators en monteurs te overbruggen, door overdracht van bepaalde onderhoudstaken aan bedieningspersoneel. Hiermee wordt, naast doelmatigheidsverbetering, bereikt dat operators zich mede verantwoordelijk voelen voor het handhaven van het vereiste niveau van de TS-conditie. Na gerichte training in de werking van de TS en de noodzakelijke basisvaardigheden, kan bedieningspersoneel geleidelijk bepaalde eerstelijns onderhoudstaken uitvoeren zoals: schoonmaken en smeren, kleine afstellingen en reparaties, routine inspecties en machineomstellingen.

Tevens dragen operators zorg voor registratie van kleine storingen. Deze worden in kleine groepen samen met monteurs geanalyseerd en de daaruit voortvloeiende verbeteringen ontwikkeld en ingevoerd. Hierdoor worden de lijnrendementen en daarmee de benuttingsgraad van de TS verhoogd, het storingsgedrag verbeterd en de onderhoudsbehoefte verminderd. Het leidt tot een houding van grotere gezamenlijke zorg voor de aan gebruikers toevertrouwde productiemiddelen en het realiseren van een hogere productkwaliteit. De invoering van het TPM-concept geschiedt volgens een strak programma en is verbonden met audits en evaluatie door een onafhankelijke instantie, waaraan prijzen (competitie-element) zijn verbonden. Zie voor TPM ook § 7.10.

### Integrated Logistics Support

In de USA is in 1966 de “Society of Logistic Engineers” (SOLE), opgericht. Logistic Engineering wordt door deze vereniging gedefinieerd als (Blanchard, 2008):

The art and science of management, engineering and technical activities concerned with requirement, design and supplying and maintaining resources to support objectives, plans and operations.

Logistics Engineering, ook wel aangeduid als “Integrated Logistic Support” (ILS), benadrukt de noodzaak van de levenscyclus benadering en de aandacht voor het ontwerpen van het onderhoudsgedrag (RAMS en LCC) en het ontwikkelen van het onderhoudsconcept in het ontwerp met behulp van “Logistic Support Analysis” (LSA). Het maakt gebruik van “Systems Engineering” (SE) principes (Blanchard, 1998). Systems Engineering en het ILS-concept zijn militaire ontwikkelingen en worden vooral toegepast bij het ontwerp van complexe wapensystemen, in de luchtvaart en de ruimtevaart. De belangstelling voor civiele toepassing van dit concept neemt geleidelijk toe, o.a. binnen Rijkswaterstaat. In Nederland is een afdeling actief van de “International Council on Systems Engineering” (INCOSE).

Logistic Support Analysis houdt in de ontwikkeling van het onderhoudsconcept voor een complex technisch systeem. Een onderhoudsconcept bestaat uit het onderhoudsprogramma en daarnaast de vereiste middelen om dat uit te voeren: initiële reservedelen-behoefte en bevoorrading daarvan, het voorzien in test- en hulpparaatuur, opleiding van personeel, transport, faciliteiten, documentatie, alsmede de organisatie en planning van het onderhoud, afgestemd op de situatie van de gebruiker.

Logistics Engineering is vergelijkbaar met het Terotechnologie-concept, maar het omvat een reeks van praktische methoden, waarvoor inmiddels ondersteunende software-hulpmiddelen voorhanden zijn. Het nut van verdieping in de toepassing van het Integrated Logistic Support concept is, dat vele aspecten die een rol spelen bij het ontwikkelen en in gebruik nemen van complexe militaire systemen, ook in toenemende mate van belang zijn bij complexe engineering projecten in de civiele sector.

### Asset Management

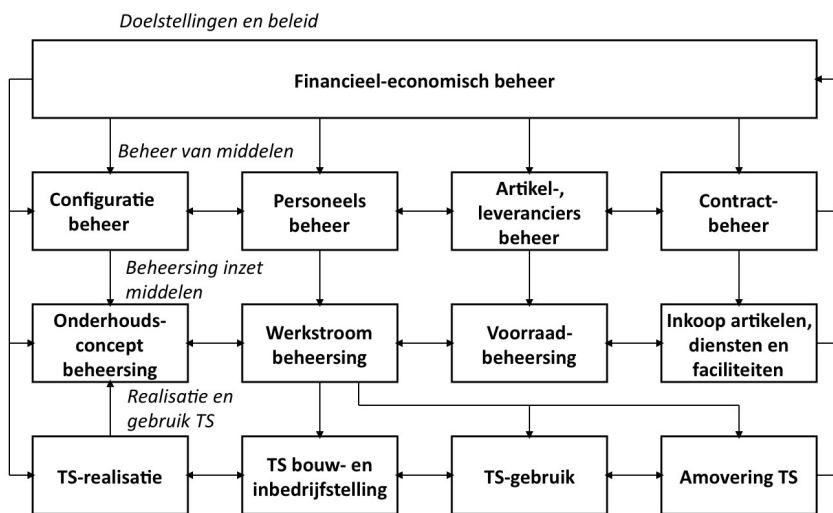
Asset Management is op dit ogenblik een nog beperkt ontwikkeld concept, maar zal daar in de toekomst toe kunnen uitgroeien. Het is eind jaren 90 ontwikkeld in Engeland, voornamelijk door infrastructuurbeheerders. De naam is verwarrend, omdat dit in de financiële wereld een gevestigd begrip is voor het beheer van financiële middelen. Assets zijn fysieke kapitaalgoederen zoals grond, gebouwen en productiemiddelen, maar daarnaast zijn er human assets zoals personeel en leveranciers. Kennis, financiën en informatie worden eveneens als assets beschouwd.

De essentie en mogelijke bijdrage vanuit Asset Management zou kunnen liggen in de vertaling van strategische doelstellingen van de organisatie en haar belanghebbenden, naar de eisen te stellen aan de fysieke middelen. Daarnaast wordt nadruk gelegd op identificatie en beoordeling van de onderscheiden risico's. Het ontbreekt in de basis-publicatie (PAS-55, 2004) aan eenduidige definities en aan richtlijnen voor toepassing, evenals het geval was bij het terotechnologie-concept. Dit leidt ertoe dat veel adviseurs aan het PAS-concept een eigen interpretatie geven.

Operational Excellence

Al in de 70-er jaren van de vorige eeuw is aandacht ontstaan voor het structureren van werkprocessen binnen de productie, met het “Toyota Production System”. In de 80-er jaren heeft “Business Process Reengineering” (BPR) het proces-denken een impuls gegeven, met daarna toepassing van methoden voor het kwantificeren en beoordelen van de effectiviteit en doelmatigheid van werkprocessen zoals: “benchmarking”, het gebruik van prestatie-indicatoren en de “Business Balance Score Card”. Van wat meer recente datum zijn methoden zoals “Lean Thinking” en “Six Sigma”, welke ten doel hebben het identificeren en reduceren van verliezen, voorraden en wacht- en doorlooptijden in fysieke en administratieve werkprocessen. Vaak worden hiervoor superlatieven gebruikt zoals “World Class Manufacturing”.

Een voorbeeld van beschrijving van werkprocessen voor onderhoud is het Technisch System Management TSM-model (Smit, 2000), ontwikkeld door NVDO/SICON, de Sectie voor Informatie en Communicatie in het Onderhoud, een onderdeel van de Nederlandse Vereniging voor Doelmatig Onderhoud (NVDO). Het eerste niveau van beschrijving geeft de samenhang van de onderhoudswerkprocessen weer, zie Figuur 1.6.



Figuur 1.6 Technisch System Management model.

Het TSM-model geeft een beschrijving van alle werkprocessen, deelprocessen en procesfuncties en de informatie die is vereist voor het vervullen en beheersen van de functies van een TD. Het doel van het TSM-model is het vormen van een generieke referentie voor de inrichting van de werkprocessen voor het onderhouden en ontwerpen op gespecificeerd onderhoudsgedrag van technische systemen en voor de inrichting van de ondersteunende onderhoudsbesturingssystemen.

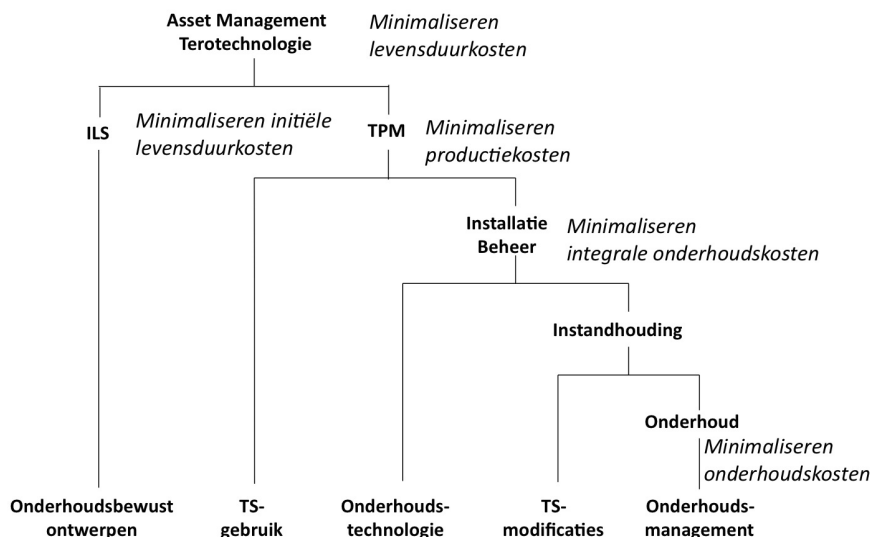
Samenhang tussen de conceptuele benaderingen

In Figuur 1.7 is de samenhang weergegeven tussen de hierboven besproken conceptuele benaderingen voor onderhoud. In de eerste plaats betreft dit het onderhoudsmanagement

met als doelstelling het realiseren van het gespecificeerde TS-onderhoudsgedrag, tegen minimale onderhoudskosten.

Instandhouding voegt hieraan een element toe, namelijk de realisatie van de vereiste functionaliteit en het gespecificeerde onderhoudsgedrag door onderhoud en modificatie over de gehele levensduur, tegen minimale kosten.

Installatiebeheer voegt vervolgens het element onderhoudstechnologie eraan toe, waarbij de doelstelling wordt verbreed naar minimalisering van de integrale onderhoudskosten.



Figuur 1.7 Samenhang conceptuele benaderingen onderhoud.

Bij Total Productive Maintenance is de aandacht gericht op de combinatie van onderhoud en gebruik, door de introductie van het uitvoeren van eerstelijns onderhoud door bedieningspersoneel en het gezamenlijk verbeteren van de TS-prestaties door het elimineren van productieverliezen. De doelstelling daarvan is minimalisering van productiekosten.

Het ILS-concept is vooral gericht op onderhoudsbewust ontwerpen. Daarvan is de primaire doelstelling minimalisering van de TS-levensduurkosten, door het ontwerpen op het gespecificeerde onderhoudsgedrag, de ontwikkeling van het initiële onderhoudsconcept en de logistieke ondersteuning voor gebruik en onderhoud.

Terotechnologie en Asset Management beogen zowel onderhoudsbewust ontwerpen, als het onderhoud en het verbeteren van de TS-functionaliteit over de gehele levenscyclus te beschouwen, tegen minimale levensduurkosten van het TS. Daarbij kan worden geconstateerd dat onderhoudsbewust ontwerpen (SE en ILS) nog betrekkelijk weinig aandacht krijgen en Asset Management nog verdere ontwikkeling vereist.

## 1.7 Literatuur

- Anon; Onderhoudsopleidingen in kaart gebracht. Maintenance Magazine, nr 30. november 1997, pag. 17-18.
- Blanchard, B.S; Fabrycky, W.J; Systems Engineering and Analysis, 3rd Edition, Prentice Hall International, London, 1998. ISBN 0-13-135047-1.
- Blanchard, B; Logistics Engineering and Management. 6th Ed. Pearson Education Inc, 2008. ISBN 0-13-124699-2.
- Botter, C. H; Productiemanagement. Kluwer, Deventer, 1985. ISBN 90-267-1879-9
- DKIN e.V; Deutsches Komitee Instandhaltung. Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Instandhaltung in der Bundesrepublik Deutschland, 1980.
- Enden, C. van der; Dienstverlening: Kiezen en Calculeren. Verslag van het derde lustrumcongres, deel 1: Plenaire zittingen. NVDO-Congres, Maastricht, 9-11 mei 1979. NVDO rapport 1979/3, s-Gravenhage.
- Hewgill, J.C, Parkes, D; Terotechnology-Philosophy and concept. Terotechnica, nr. 1, 1979.
- Maintenance aspects of Terotechnology. Part 2. Management Maintenance ratios. Department of Industry, Committee for Terotechnology. HMSO 1978.
- Marcelis, W. J; Onderhoudsbesturing op maat. Kluwer, Deventer 1979. ISBN 90-267-0603-0
- Moll, O; Hale, A. R; Smit, K; Preventie van onderhoudsgerelateerde ongevallen. Tijdschrift voor toegepaste Arbeidwetenschap, jrg 7, pag. 79-86. Behorend bij Arbeidsomstandigheden 70, nr. 12, 1994.
- Monhemius, W; Logistiek management. Kluwer, Deventer, 1985.
- Nakajima, S; TPM, Introduction to TPM. Productivity Press, Massachusetts, 1988. ISBN 0-915299-23-2
- NVDO-rapport 1983/9, Onderhoudstermen.
- PAS 55-1 Asset Management, Part 1: Specification of the optimized management of physical infrastructure assets. BSI 2004.
- PAS 55-2; Asset Management, Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1. BSI 2004.
- Porter, M. E; Competitive Advantage. The Free Press/McMillan, 1985. ISBN 0-02-925090-0.
- Riddell, H. S; LCC in the chemical industry: two casestudies. Terotechnica, nr. 2, 1981. SDU Uitgeverij, 's-Gravenhage, 3e herziene druk, 1991. ISBN 90-1206-171-7, pag. 1-120.
- Shingo, S; Quick Changeover for Operators: The SMED-system. Productivity Press, New York, 1996. ISBN 1-56327-125-7.
- Smit, K; De ontwikkeling van de onderhoudsfunctie. Industrieel Onderhoud. Reed Business Select, nr. 3 mei 2007, pag. 32-34.
- Smit, K; Kwaliteitsborging in het onderhoud. Euroforum Studiedag, Utrecht, 20 november 1990.
- Smit, K; Methode voor analyse en verbeteren onderhoudsgedrag van complexe productielijnen. PT-Werktuigbouw 38 (1983), Nr 3.
- Smit, K; Onderhoud vraagt snelle diagnose. Ingenieurskrant, Jrg 3, nr 25, 28 november 1991.
- Smit, K; Onderhoudsbewust ontwerpen en onderwijs. Technische Bedrijfsvoering, nr. 2, maart/april 1987.
- Smit, K; Technisch Systeem Management. Kluwer, Alphen aan den Rijn, 2000. ISBN 90-14-067054-1, pag 1-395