

Producttekenen en -documenteren van 3D naar 2D

Producttekenen en -documenteren

van 3D naar 2D

5e druk

Arnoud Breedveld

Boom

Meer informatie over deze en andere uitgaven kunt u verkrijgen via www.boomuitgeversamsterdam.nl.

Gebruik onderstaande code om dit boek eenmalig toe te voegen aan je boekenplank op www.academicx.nl.

Let op: je kunt deze code maar een keer gebruiken.

© 2016 Arnoud Breedveld

© 2016 Boom uitgevers Amsterdam

1e druk 2004

2e druk 2005

3e druk 2008

4e druk 2011

5e druk 2016

Zetwerk: Nu-nique grafische vormgeving, Goor

Omslag: Carlito's Design, Amsterdam

ISBN: 978 90 587 5419 6

NUR: 173/950

Alle rechten voorbehouden. Alle auteursrechten en databankrechten ten aanzien van deze uitgave worden uitdrukkelijk voorbehouden. Deze rechten berusten bij Boom uitgevers Amsterdam en de auteur.

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet gestelde uitzonderingen, mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van reprografische verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16 h Auteurswet, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich te wenden tot de Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.cedar.nl). Voor het overnemen van een gedeelte van deze uitgave ten behoeve van commerciële doeleinden dient men zich te wenden tot de uitgever.

Hoewel aan de totstandkoming van deze uitgave de uiterste zorg is besteed, kan voor de afwezigheid van eventuele (druk)fouten en onvolledigheden niet worden ingestaan en aanvaarden de auteur(s), redacteur(en) en uitgever deswege geen aansprakelijkheid voor de gevolgen van eventueel voorkomende fouten en onvolledigheden.

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 publisher's prior consent.

While every effort has been made to ensure the reliability of the information presented in this publication, Boom uitgevers Amsterdam neither guarantees the accuracy of the data contained herein nor accepts responsibility for errors or omissions or their consequences.

Voorwoord

Sinds jaar en dag worden technische tekeningen volgens dezelfde regels en op dezelfde manier vervaardigd. De enige noemenswaardige vernieuwing gedurende de laatste 15 jaar is het vervangen van calque en tekenpen door 2D-CAD-systemen. Het maken van technische tekeningen is daarmee efficiënter geworden, maar wereldschokkend is deze verandering niet. De normen die voor tekeningen gelden zijn hetzelfde gebleven en de plaats van de tekening in het technische proces is ook nog hetzelfde. Het enige wat veranderd is, is het gereedschap.

Langzaam maar zeker is hierin verandering gekomen. Door de opkomst van 3D-CAD is de technische tekening in veel gevallen niet langer het centrale medium binnen de productontwikkeling. Die rol is overgenomen door het 3D-model en de technische tekening is een afgeleide van datzelfde model. Dat verandert niets aan de eisen die aan een goede technische tekening gesteld worden, maar wel aan de manier waarop de technische tekening vervaardigd wordt.

Dit boek speelt in op deze veranderde werkwijze. Steeds wordt ervan uitgegaan dat er een 3D-model is, waarvan de technische tekening afgeleid wordt. Dat vereist andere vaardigheden van de student. Zo wordt het bijvoorbeeld steeds minder belangrijk om de meetkundige methodes te kennen om bijvoorbeeld de snijlijn tussen twee cilinders te kunnen construeren of een ingewikkelde doorsnede te kunnen tekenen. De student moet echter wel getraind worden in het maken van keuzes ('welke doorsnede kies ik' in plaats van 'hoe teken ik die doorsnede') en in het beoordelen van resultaten die door het CAD-systeem geproduceerd worden.

In *Producttekenen en documenteren van 3D naar 2D* komen alle aspecten van de technische tekening aan de orde, ook die aspecten die bij het werken met 3D-CAD misschien minder relevant lijken, zoals projecteren en het tekenen van uitslagen. Enige kennis daarvan draagt bij aan het begrip van studenten. Speciale aandacht wordt besteed aan het tekenen van kunststof spuitgietonderdelen die bij het producttekenen niet weg te denken zijn. Hoewel de tekenwijze daarvan niet anders is dan die van andere producten, treden er toch specifieke problemen bij op. Verder worden in dit boek uiteraard alle regels, normen, gebruiken en voorkeuren behandeld die een rol spelen bij het maken van technische tekeningen.

Hoewel nadrukkelijk uitgegaan wordt van het werken met (3D) CAD-programma's, is dit boek softwareonafhankelijk. Dit betekent dat het in combinatie met elk CAD-programma gebruikt kan worden. Wel wordt ervan uitgegaan dat de student het CAD-programma voldoende beheerst om de tekeningen te kunnen maken. De oefenbestanden zijn in neutrale bestandformaten (dxf, iges, step) beschikbaar, zodat die in elk CAD-programma te openen zijn. De bestanden zijn te downloaden via www.academicsservice.nl/downloads.

Wij bedanken FLEX / theINNOVATIONLAB® voor de in dit boek beschreven projecten:

- De Compri HX, door FLEX / theINNOVATIONLAB® ontwikkeld in opdracht van PRIVABuilding Intelligence B.V. te Delft.
- De Wattcher, ontworpen door Marcel Wanders en ontwikkeld door FLEX / theINNOVATIONLAB® in opdracht van Innovaders BV, Amsterdam.
- De flessen voor Albert Heijn schoonmaakmiddelen zijn door FLEX / theINNOVATIONLAB® ontwikkeld in opdracht van Albert Heijn i.s.m. Mac Brite/Yplon – voorheen Grada – te Breda.
- Het wegwerpbestek, door FLEX / theINNOVATIONLAB® ontwikkeld in opdracht van Haval Disposables B.V. te Gemert.

Veel Nederlandse NEN-normen zijn in de laatste jaren vervangen door internationale (EN-ISO) normen. In deze vijfde druk zijn deze wijzigingen overal doorgevoerd en zijn de onderwerpen, waar dat tot aanpassing van de regels geleid heeft, aangepast.

Arnoud Breedveld
November 2015

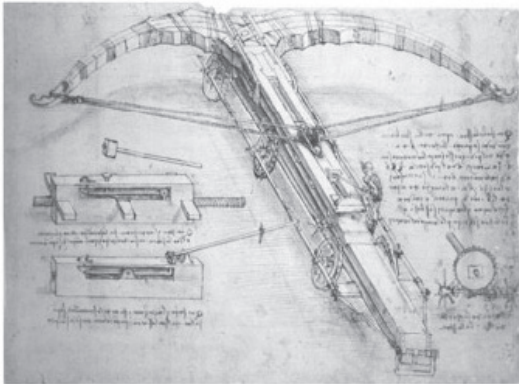
Inhoud	6	Het tekenen van speciale onderdelen	52
Voorwoord	V	6.1 Kunststof producten met lossingen en afrondingen	52
		6.2 Dubbelgekromde producten	53
1 Inleiding	1	6.3 Schroefdraad en schroefdraadartikelen	56
		6.4 Lagers	62
1.1 De oorsprong van technische tekeningen	1	6.5 Tandwielen	62
1.2 Normalisatie	1	6.6 Schroefveren	65
1.3 Het maken van een technische tekening	2	6.7 Buizen	66
1.4 3D-CAD en technisch tekenen	3	6.8 Plaatmateriaal	67
1.5 Technisch tekenen in de praktijk	4	6.9 Oefeningen	74
2 Organisatie van het tekenwerk	6	7 Het maken van een tekening	78
2.1 Tekeningsystemen	6	7.1 De samenstellingstekening	78
2.2 Papierformaten	7	7.2 De monotekening	81
2.3 Kader en rechteronderhoek	8	7.3 Exploded view en isometrie	88
2.4 Vouwen en inbinden van tekeningen	9	7.4 Velindeling	88
2.5 Nummering van tekeningen	11	7.5 Oefeningen	96
3 Enkele basisbegrippen	13	8 Maatinschrijving	101
3.1 Lijnsoorten	13	8.1 Onderdelen van een maat	101
3.2 Schrift	14	8.2 Soorten maten	102
3.3 Schalen	15	8.3 Plaatsing van maten in de tekening	104
		8.4 Speciale en weinig gebruikte aanduidingen	107
		8.5 Oefeningen	111
4 Aanzichten	19	9 Maten en aanduidingen in de samenstellingstekening	114
4.1 Wat is projecteren?	19	9.1 Stuknummers	114
4.2 Isometrie, dimetrie, trimetrie	20	9.2 Stuklijst	115
4.3 Orthogonale Projectie	21	9.3 Bemating in de samenstellingstekening	117
4.4 De uitvoering van een aanzicht	24	9.4 Oefeningen	122
4.5 Details	27		
4.6 Vereenvoudigde aanzichten	28		
4.7 Hulpaanzichten	30		
4.8 Oefeningen	33		
5 Doorsneden	38	10 Bematen van de monotekening	123
5.1 Het tekenen van een doorsnede	38	10.1 Principes van het bematen	123
5.2 Arceren	41	10.2 Beginnen met bematen: functionele maten	125
5.3 Gedeeltelijke doorsneden	42	10.3 Bematen vanuit productie	136
5.4 Speciale doorsneden	44	10.4 Overige maten	140
5.5 Doorsnijden van ribben, assen en andere bijzondere elementen	47	10.5 Oefeningen	145
5.6 Oefeningen	50		

11	Bematen van speciale producten	146	15	Lassen en lijmen	193
11.1	Dubbelgekromde objecten	146	15.1	De lassamenstellingstekening	193
11.2	Producten met veel lossingen en afrondingen	150	15.2	Het tekenen van lassen	194
11.3	Buizen	150	15.3	Lasaanduidingen	194
11.4	Oefeningen	151	15.4	Soorten lassen	195
			15.5	Lijmen	198
			15.6	Oefeningen	198
12	Maattoleranties en passingen	152			
			BIJLAGEN		
12.1	Begrippen en aanduiding	152			
12.2	De keuze van de tolerantiewaarde	154	1	Checklist voor een correcte technische tekening	203
12.3	Welke maten tolereren?	157	2	Voorkeurspassingen	205
12.4	Rekenen met toleranties	162	3	Enkele standaard onderdelen	210
12.5	ISO-passingstelsel	166	4	Schroefdraad	224
12.6	Oefeningen	172	5	Complete tekeningen	227
13	Oppervlakteruwheden	175		Index	239
13.1	Bepaling van de oppervlakteruwheid	175			
13.2	Aanduiding in de tekening	177			
13.3	Plaatselijke en speciale bewerkingen	179			
13.4	Texturen in kunststoffen	181			
13.5	Oefeningen	182			
14	Geometrische toleranties	183			
14.1	De functie van geometrische toleranties	183			
14.2	Aanduiding in de tekening	184			
14.3	De verschillende geometrische toleranties	185			
14.4	Speciale aanduidingen bij geometrische toleranties	189			
14.5	Geometrische toleranties in de praktijk	190			
14.6	Oefeningen	192			

1 Inleiding

1.1 De oorsprong van technische tekeningen

Zolang mensen producten bedenken en maken, bestaan er ook al technische tekeningen. Lange tijd waren dat vooral schetsen bedoeld voor de ontwerper, als een middel om constructies uit te denken. Een bekend voorbeeld daarvan zijn de tekeningen van Leonardo da Vinci. Op het eerste gezicht hebben deze tekeningen niets te maken met technische tekeningen zoals wij die nu kennen. Toch was het doel ervan hetzelfde: vastleggen van ideeën met betrekking tot het product en het inzichtelijk maken van deze ideeën voor anderen.



Figuur 1.1 Een technische tekening van Leonardo da Vinci

Tijdens en na de industriële revolutie veranderde het ontwerp- en productieproces ingrijpend. Niet langer bedacht, ontwikkelde en produceerde één persoon een product. Vanuit het ambacht ontstond industrie, met als kenmerk dat verschillende functies door verschillende personen uitgevoerd werden. Er kwamen gespecialiseerde ontwerpers, engineers, werkvoorbereiders, gereedschapmakers, enzovoort. Al deze mensen moesten met elkaar kunnen *communiceren* over het product dat gemaakt moest worden. De technische tekening bleek daarvoor een uitstekend middel te zijn.

In die tijd bestonden er echter nog geen regels voor het maken van tekeningen, dus deed iedereen dat op zijn eigen manier. Je kunt je voorstellen dat dit aanleiding gaf tot onduidelijkheden. Immers, als een lezer een tekening anders interpreteert dan de maker bedoelde, zijn fouten onvermijdelijk. Dat kan uiteindelijk leiden tot fouten in producten, met alle gevolgen van dien.

Het was duidelijk dat er een standaard moest komen, zodat iedereen elkaars tekeningen zou kunnen begrijpen. In de loop van de 19e eeuw ontstond er vanuit 'best practice' een soort informele standaard voor tekenwerk. Dat systeem is uiteindelijk, in het begin van de 20ste eeuw genormaliseerd.

1.2 Normalisatie

Normalisatie is een proces waarbij iets wat in de dagelijkse praktijk eigenlijk al op een bepaalde manier gebeurt, vastgelegd wordt. Vanaf dat moment is het de bedoeling dat iedereen zich daaraan houdt. Normen worden opgesteld door een normalisatie-instituut, in Nederland is dat het NEN (voorheen het NNI: Nederlands Normalisatie Instituut). Het NEN is geen overheidsinstelling, maar een stichting, waarin allerlei belangenorganisaties (waaronder ook de overheid) samenwerken bij het opstellen van normen. Een norm is dus ook geen wet. Het is op zich dus niet strafbaar om je niet aan een norm te houden. Aan de andere kant: als door het niet juist toepassen van een norm fouten in een product ontstaan, zal degene die de norm niet juist toegepast heeft daarvoor wel aansprakelijk gesteld kunnen worden. Het is dus van het grootste belang de normen te kennen en juist toe te passen.

De meeste landen hebben een eigen normalisatie-instituut. Nederland heeft, zoals gezegd het NEN, dat NEN-normen opstelt. België heeft de BIN-normen, Duitsland de DIN-normen, de Verenigde Staten hebben ANSI-normen en de EU heeft EN-normen. Overkoepelend zijn er de internationale ISO-normen: deze ontstaan vaak uit een combinatie van landelijke normen. Je krijgt dan bijvoorbeeld een NEN-ISO norm. Normalisatie is geen eenmalig proces: normen veranderen regelmatig, en zijn ook nu nog steeds in ontwikkeling. Dat heeft te maken met ontwikkelingen in de techniek, waarop de norm aan moet blijven sluiten.

Normen worden voor talloze vakgebieden opgesteld. Zodra je werktuigbouwkundige technische tekeningen gaat maken, krijg je met twee soorten normen te maken:

- Normen over het maken van een technische tekening. Daaronder vallen bijvoorbeeld afspraken over tekenwijze, lijndiktes, maataanduidingen, enzovoort.

- Normen over technische onderdelen. Hieronder vallen bijvoorbeeld schroefdraad, bouten, moeren, tandwielen, lagers, en zo verder.

Vooral deze laatste groep levert een enorme hoeveelheid normen op, over de meest uiteenlopende onderwerpen. Kijk eens rond op de website van het NEN (<http://www.nen.nl>) om een indruk te krijgen. Veel van deze normen zijn erg specialistisch. Denk bijvoorbeeld aan een norm over de verkleuring van lijm, of een norm over zelfborgende moeren in vliegtuigen. Dit soort specifieke normen zul je in dit boek niet tegenkomen, maar met andere krijg je onherroepelijk te maken. Bijvoorbeeld: hoe ziet een normale zeskantbout eruit?

Behalve normen kom je ook de NPR (Nederlandse Praktijkrichtlijn) tegen. Een NPR geeft aanwijzingen over hoe een norm in de praktijk toegepast kan worden. Zo is er bijvoorbeeld een NEN-norm die voorschrijft hoe maatnauwkeurigheidstoleranties in de tekening aangegeven moeten worden, en is er een praktijkrichtlijn die een indicatie geeft welke nauwkeurigheid voor een bepaald werkstuk haalbaar is. Aan een NPR hoeft je je (in tegenstelling tot een norm) niet te houden, maar je zult wel een goede reden moeten hebben om van een geadviseerde waarde af te wijken.

In dit boek wordt regelmatig de norm genoemd waarin een bepaald onderwerp behandeld wordt. Als je meer specifieke informatie over een onderwerp wilt hebben, doe je er verstandig aan deze normen te raadplegen. Het NEN brengt zogenoemde NEN-Bundels uit, waarin de normen die relevant zijn voor een bepaald vakgebied gebundeld zijn. Zo is er een NEN-Bundel 16 voor werktuigbouwkundig tekenen.

De laatste versie van deze bundel dateert alweer van 2004. Tegenwoordig worden normen steeds meer online geraadpleegd. Daarvoor heeft NEN een systeem NEN-connect ontwikkeld. Helaas moet je wel een (betaald) abonnement hebben om NEN-connect te kunnen gebruiken.

1.3 Het maken van een technische tekening

Traditioneel worden technische tekeningen op papier, calque op polyesterfilm gemaakt. Daarvoor wordt een tekentafel met tekenmachine gebruikt. De tekenmachine is het gedeelte van de tekentafel waar de linialen (een horizontale en een verticale) aan vast zitten. De linialen kunnen vrij over de tafel bewogen worden en zodanig onder een hoek versteld worden.

De opzet van de tekening wordt gemaakt met potlood, voor de definitieve tekening worden inktpenningen gebruikt. Verder worden allerlei tekenmaterialen en malen voor verschillende doeleinden gebruikt.



Figuur 1.2 Een traditionele tekentafel, met tekenmachine.

De originele tekeningen worden hangend of liggend opgeborgen in een tekeningenkast. Hiervoor bestaan verschillende systemen. Voor het reproduceren van tekeningen op calque, worden twee systemen gebruikt:

- Lichtdrukken: dit is een procédé waarbij de originele tekening (op calque) samen met uv-gevoelig papier onder een uv-lamp doorgevoerd wordt. Daarna wordt de afdruk ontwikkeld.
- Microfilm: Dit systeem werd veel gebruikt omdat tekeningen op die manier veel makkelijker te archiveren, terug te vinden en te reproduceren waren. Afdrukken worden met een Xerox-techniek gemaakt.

Sinds begin jaren 1990 heeft het maken van technische tekeningen met de computer een enorme vlucht genomen. Dit staat bekend als CAD, wat een afkorting is van Computer Aided Design of Computer Aided



Figuur 1.3 Werken met CAD.

Drafting. Het bekendste CAD-programma is AutoCad. Het tekenen met een CAD-systeem heeft belangrijke voordelen. Het tekenen zelf gaat misschien niet eens noemenswaardig veel sneller dan met traditionele middelen. Zodra er echter wijzigingen in een tekening doorgevoerd moeten worden, of meerdere varianten van een product getekend moeten worden, is wel grote tijdswinst te behalen. Voor veel bedrijven is dit het grootste deel van het tekenwerk.

In het bedrijfsleven wordt inmiddels niet meer met de tekentafel getekend, deze is volledig verdrongen door CAD-systemen. Overigens kan niet voldoende benadrukt worden dat zowel tekentafel als CAD-systeem hulpmiddelen zijn voor het vervaardigen van tekeningen. De eisen die aan de tekeningen gesteld worden blijven hetzelfde, ongeacht de gebruikte techniek.

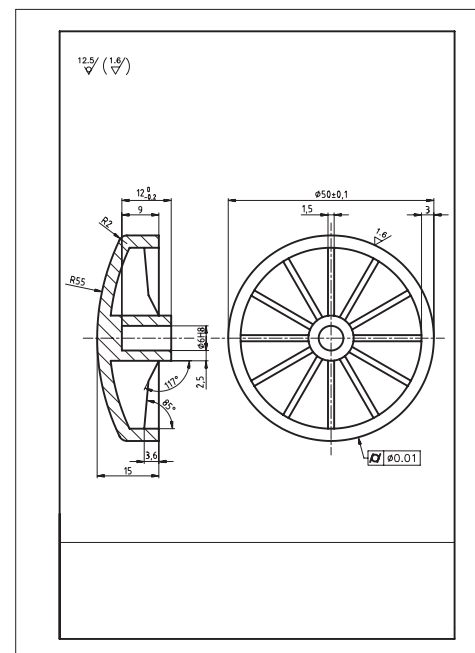
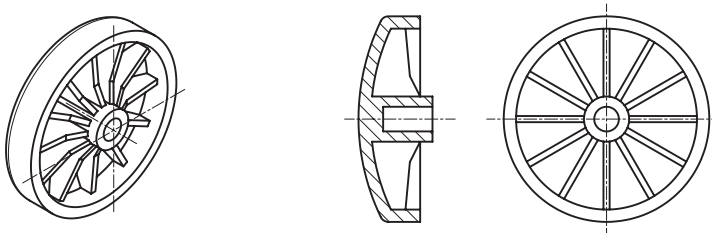
1.4 3D-CAD en technisch tekenen

Sinds het eind van de jaren 1990, is de toepassing van 3D-CAD bij productontwikkeling steeds meer gemeengoed geworden. Traditioneel wordt een product ontwikkeld tijdens het maken van de technische tekening. Tijdens het tekenen wordt het product bedacht en geconstrueerd. Als de tekening klaar is, is het product volledig uitgedacht en vastgelegd. Bij het gebruik van 3D-CAD vindt de productontwikkeling plaats tijdens het modelleren (tekenen is in dit verband niet het goede woord). Als het 3D-model klaar is, is het product volledig uitgedacht. In het 3D-model ligt dan het hele product vast. Het echte *ontwikkelen* van een product gebeurt dus in een ander medium. Daarmee is er voor het eerst iets fundamenteels veranderd aan de plaats van de technische tekening binnen de productontwikkeling. Een technische tekening kan nu nog achteraf gemaakt worden, als een afgeleide van het 3D-model.

Inmiddels wordt er steeds meer informatie in het 3D-model gestopt. Waar in de begintijd van 3D-CAD eigenlijk alleen de vorm van een product vastgelegd werd (de geometrie) is de laatste generatie CAD-systemen in staat om ook veel informatie voor de productie aan het model te koppelen. Denk bijvoorbeeld aan informatie over hoe nauwkeurig een onderdeel gemaakt moet worden, hoe de oppervlakte afgewerkt moet worden, of hoe een las of een lijmverbinding gemaakt moet worden. Dit soort informatie noemen we in het Engels *3D annotations*. Voor het 3D-annoteren in het model zijn inmiddels ook normen ontwikkeld: ASME Y14.41, en daar van afgeleid ISO16792. De grote CAD-systemen volgen in meer of mindere mate deze normen.

Waarom zou je, als het hele product in het 3D-model vastligt, dan toch nog een technische tekening maken? Daarvoor is wel een aantal argumenten te geven:

- Nog lang niet alle CAD-systemen ondersteunen 3D-annoteren, voor bijvoorbeeld het aangeven van nauwkeurigheid en oppervlakteafwerking, in voldoende mate.
- Het uitwisselen van CAD-gegevens levert problemen op. Wanneer communicatie plaats moet vinden tussen twee bedrijven die verschillende CAD-systemen gebruiken, ontstaan problemen. Bij gegevensuitwisseling gaan vaak de extra gegevens (uit het vorige punt) als eerste verloren. Een tekening op papier kan iedereen lezen.



3D-model → Producttekening → Technische tekening

Figuur 1.4 De stappen bij het maken van een tekening vanuit een 3D-CAD-programma.

- Een technische tekening is een juridisch document. Systemen om elektronische documenten te waarmerken staan nog in de kinderschoenen, op een tekening kun je simpelweg een handtekening zetten. Mocht er dan toch iets misgaan, dan is het veel makkelijker om naar een tekening te verwijzen, waarvan een bepaalde maat verkeerd uitgevoerd is, dan naar een 3D-model.
- Als een product in een werkplaats gemaakt moet worden, is een tekening op papier veel praktischer dan een computerbestand, waar maten in opgeroepen en afgelezen kunnen worden.

De technische tekening wordt niet alleen door het 3D-annoteren minder noodzakelijk, maar ook doordat in de praktijk steeds meer productietechnieken rechtstreeks op het 3D-model gebaseerd zijn. Denk bijvoorbeeld aan computergestuurd draaien en frezen (CAM – Computer Aided Manufacturing), lasersnijden en Rapid Manufacturing (3D-printen). Bij dit soort technieken komt er vaak geen technische tekening meer aan te pas.

Het is vrijwel zeker dat de technische tekening in de toekomst zal verdwijnen, of in elk geval een ondergeschikte rol zal spelen in de productdocumentatie. Alle benodigde informatie zit dan in het 3D-model. Zo ver is het echter nog lang niet. Hoewel er technisch al veel mogelijk is, moeten de normen nog verder uitgebreid worden om alle onderwerpen te beslaan. Maar belangrijker misschien is het wachten is op acceptatie in de markt. Op dit moment is de technische tekening dus nog onmisbaar.

1.5 Technisch tekenen in de praktijk

Bij het werken met 3D-CAD worden technische tekening afgeleid van het 3D-model. De meeste CAD-programma's bieden daarvoor behoorlijk wat mogelijkheden. Soms staat er al met één commando een kant en klare technische tekening op het scherm. In de praktijk blijken deze 'automatisch' gegenereerde tekeningen vaak kant noch wal te raken. Immers, ongeacht hoe de tekening gemaakt is, de normen die voor traditioneel vervaardigde tekeningen gelden, blijven onverminderd van kracht! Ook bij gebruik van een 3D-programma zul je dus goed moeten weten hoe een technische tekening eruit moet zien. Wel is het natuurlijk zo dat een 3D-CAD-programma het tekenwerk behoorlijk kan vereenvoudigen. Aanzichten en ingewikkelde doorsneden worden razendsnel gegenereerd. Toch blijft ook hier steeds het kritische oog van de tekenaar vereist.

In dit boek gaan we ervan uit dat tekeningen gemaakt worden zoals hierboven beschreven is. We krijgen dus de volgende drie stappen:

- 1 3D-modelleren.
- 2 Het maken van de producttekening. Hiervoor worden aanzichten en doorsneden van het 3D-model afgeleid.
- 3 Het maken van de technische tekening. Toevoegen van maat- en andere aanduidingen.

De eerste stap, het 3D-modelleren, wordt in dit boek niet behandeld. Er wordt van uitgegaan dat je goed met een 3D-CAD-programma overweg kunt en een product helemaal kunt modelleren. Het maken van een producttekening, afgeleid van het 3D-model, wordt in het eerste deel van dit boek behandeld. Het tweede deel van het boek behandelt het maken van een technische tekening, inclusief alle benodigde aanduidingen.

Het modelleren van een product moet uiteraard in een 3D-CAD-programma gebeuren, net als het afleiden van aanzichten en doorsneden. Welk programma daarvoor gekozen wordt, maakt voor het gebruik van dit boek niet uit. Alle bekende CAD-programma's, zoals SolidWorks en Inventor, bieden ongeveer dezelfde functionaliteit. Als de tekening eenmaal gegenereerd is, moet je een keuze maken: blijf je in het 3D-programma werken, of stap je over naar een 2D-programma? Beide opties hebben voor- en nadelen.

Een 3D-CAD-programma is meestal minder geschikt voor het maken van 2D-tekeningen. De programma's bevatten veel 'automatische' functies. Die zijn wel erg handig, maar zitten in de weg wanneer je een tekening exact volgens de regels wilt maken. In dit boek gaan we er van uit dat een tekening wel exact volgens de regels uitgevoerd wordt. Dit betekent dat je nogal eens dingen aan zult moeten passen die het CAD-programma automatisch getekend heeft. In veel 3D-CAD-programma's is dat niet, of alleen met grote moeite mogelijk. Een 2D-programma, zoals AutoCad, is daar veel flexibeler in. Elk lijntje kan precies naar wens aangepast worden.

Het grote voordeel van werken in het 3D-programma, is dat de koppeling tussen tekening en 3D-model blijft bestaan. Wanneer je naderhand het model wijzigt, wordt de tekening automatisch bijgewerkt. Nu zullen wijzigingen achteraf in een onderwijssituatie niet vaak voorkomen, maar in bedrijfssituaties is dit aan de orde van de dag.

In een bedrijfssituatie zal snel geaccepteerd worden dat een tekening misschien niet helemaal volgens de norm gemaakt is, als daar een veel grotere efficiëntie tegenover staat. Het converteren van tekeningen om ze daarna in een 2D-programma verder uit te werken is dan geen optie.

In dit boek gaan we, zoals gezegd, uit van de norm. We doen dan ook geen uitspraak over of een bepaalde afwijking van de norm toelaatbaar is of niet. Bespreek dit eventueel met je docent.

2 Organisatie van het tekenwerk

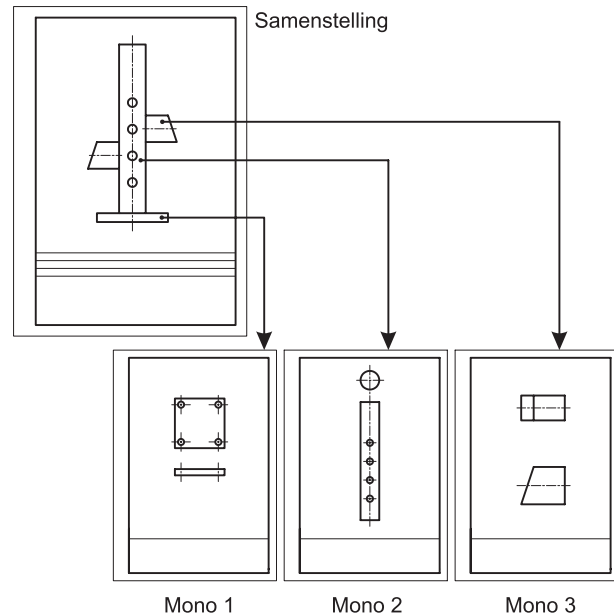
2.1 Tekeningssystemen

Wanneer je een tekening maakt van een enkelvoudig product (een product dat uit één onderdeel bestaat), dan teken je dat product op één vel papier. Veel producten zijn echter samengesteld, wat inhoudt dat ze uit meerdere onderdelen bestaan. In zo'n geval krijg je te maken met een tekeningsysteem. Voor producttekenen kennen we twee tekeningsystemen:

- Het monosysteem.
- Het combinatiesysteem.

Het monosysteem wordt in de praktijk verreweg het meeste gebruikt, ook in dit boek gaan we daar vanuit. De basis van het monosysteem is de samenstellings-tekening, waarop alle onderdelen van het product te zien zijn, met hun onderlinge samenhang. Daarnaast maak je van elk onderdeel een aparte tekening, een zogenaamde monotekening of productietekening. Op een monotekening werk je één onderdeel volledig uit, zodat alle informatie die nodig is om het onderdeel te maken op de tekening staat. Let op, elk onderdeel moet op een apart vel papier getekend worden. Hoe klein en onbeduidend het onderdeel ook is, het is niet toegestaan om twee onderdelen op één vel te plaatsen. Andersom geldt ook: elk onderdeel, hoe complex ook, wordt op één vel papier getekend. Wordt de tekening druk, neem dan een groter vel. Pas in de uitzonderlijke situatie dat je bij het grootste papierformaat aangekomen bent (zie volgende paragraaf), en de tekening nog steeds niet past, mag je een tweede vel gebruiken. Zet op het eerste vel dan wel heel duidelijk een verwijzing naar het tweede vel.

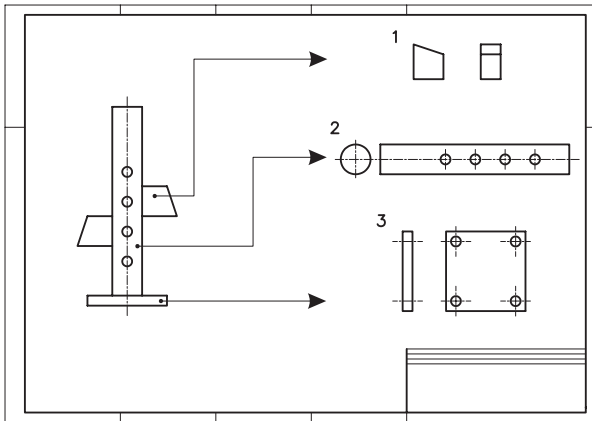
Wanneer een product uit zeer veel onderdelen bestaat, of wanneer een onderdeel eigenlijk een product op zichzelf is, met weer verschillende onderdelen, is het gebruikelijk (of zelfs noodzakelijk) om eerst nog sub-samenstellingstekeningen te maken. Dit is eigenlijk een tussenstap tussen de hoofd-samenstellingstekening en de monotekeningen. Voor sub-samenstellingstekeningen gelden precies dezelfde regels als voor gewone samenstellingstekeningen.



Figuur 2.1 Bij het monosysteem wordt een samenstellings-tekening gemaakt, en wordt elk onderdeel op een aparte monotekening uitgewerkt.

Met name in hoofdstuk 7 komen we uitgebreid terug op samenstellingstekeningen en monotekeningen, en welke eisen eraan gesteld worden.

Een alternatief voor het monosysteem is het combinatiesysteem. Dit wordt sporadisch gebruikt, bijvoorbeeld bij lassamenstellingstekeningen in de metaalindustrie. In het combinatiesysteem wordt de samenstellingstekening samen met de monotekeningen van alle onderdelen op één vel papier gezet. Uiteraard is dit alleen mogelijk bij eenvoudigere producten. Het combinatiesysteem wordt weinig gebruikt, omdat het vooral bij het beheer van tekeningen de nodige complicaties oplevert.



Figuur 2.2 Bij het combinatiesysteem wordt de samenstellings-tekening, met alle monotekeningen op een vel papier gezet.

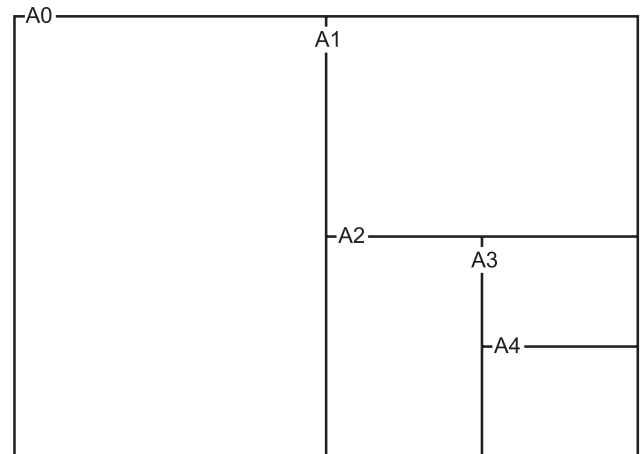
2.2 Papierformaten

Ook wanneer je met een CAD-systeem tekent, moet de tekening uiteindelijk op papier terecht komen. Je krijgt dan te maken met een aantal beschikbare formaten, waar je uit moet kiezen (NEN-EN-ISO 5457).

In Europa gebruiken wij de zogeheten A-formaten. Alle formaten kunnen liggend of staand (in CAD-programma's meestal in het Engels aangeduid als 'landscape' of 'portrait') gebruikt worden, hoewel liggend de voorkeur heeft. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de afmetingen van de verschillende A-formaten. Kenmerkend voor de A-formaten is dat de verhouding tussen lengte en breedte altijd $1 : \sqrt{2}$ is. Het uitgangspunt voor de reeks is A0, dat een oppervlakte van 1 m^2 heeft. Voor alle andere afmetingen wordt de lengte van de lange zijde steeds gehalveerd. Op die manier kun je makkelijk alle afmetingen herleiden.

Het voordeel bij het werken met CAD-systemen is dat je de keuze van je papierformaat tot het laatste moment kunt uitstellen. Pas als de hele tekening klaar is, bekijk je welk papierformaat je nodig hebt, zodat de hele tekening erop past. Als beginnend tekenaar zul je vaak de neiging hebben om kleinere papierformaten te gebruiken, omdat een A1 of A0 wel érg groot lijkt. Toch zijn dit hele gebruikelijke formaten en er is geen enkele reden

om je tot A2 of A3 te beperken. Integendeel: het is beslist niet de bedoeling dat je je tekening aanpast zodat die maar op een bepaald formaat past.



Figuur 2.3 De A-formaten: de lange zijde wordt steeds gehalveerd.

Er bestaan nog andere formaten, die worden aangeduid als bijvoorbeeld: $A4 \times 8$, of $A1 \times 3$. Hierbij worden in feite een aantal vellen van een bestaand formaat met de lange zijden tegen elkaar gelegd. $A4 \times 8$ betekent dat er 8 staande A4'tjes naast elkaar gelegd worden, en $3 A1 \times 3$ geeft 3 staande vellen A1. De maten van deze voorbeelden worden dus respectievelijk 197×1682 en 841×1783 . In de uitzonderlijke situaties waarin een A0-formaat te klein is, kun je beter twee vellen gebruiken dan deze samengestelde formaten. Alleen voor bijvoorbeeld zeer lange producten kunnen ze wel eens van pas komen.

Samengestelde formaten zul je ook nooit standaard in een CAD-programma tegenkomen. Mocht je toch besluiten ze te gebruiken, ga dan eerst na of je wel over een plotter beschikt die dit soort afmetingen kan plotten. In CAD-programma's kom je wel altijd de Amerikaanse papierformaten tegen, die aangeduid worden als A, B, C, enzovoort. Deze mogen in Nederland voor technische tekeningen niet gebruikt worden.

Benaming	Breedte (mm)	Hoogte (mm)	Toepassing
A4	210	297	Voor zéér kleine en eenvoudige onderdelen. Standaardformaat voor printers en kopieermachines.
A3	297	420	Veel gebruikt voor eenvoudige onderdelen.
A2	420	594	Veel gebruikt voor normale onderdelen.
A1	594	840	Veel gebruikt voor complexe onderdelen.
A0	840	1189	Alleen voor zeer grote en complexe onderdelen.

Tabel 2.1 Papierformaten met hun toepassingen.

2.3 Kader en rechteronderhoek

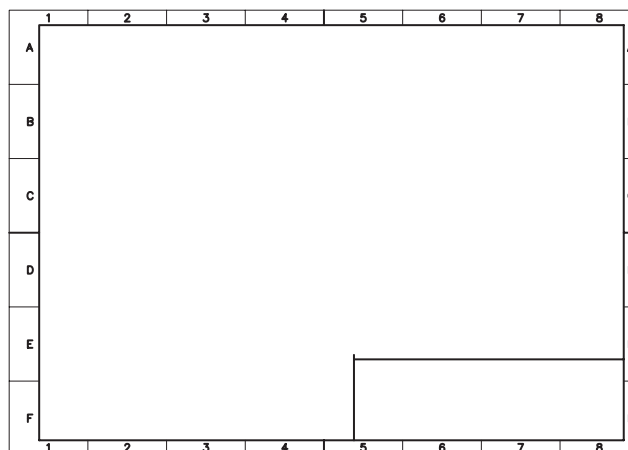
Op een tekenvel zijn twee elementen altijd aanwezig: een kader en een rechteronderhoek. Meestal zul je in een CAD-programma een template openen, waarin al een kader met rechteronderhoek staat. Je hoeft dat waarschijnlijk dus nooit zelf te tekenen. Bij de oefenbestanden bij dit boek staan ook kaders met rechteronderhoeken in alle papierformaten. Desgewenst kun je die gebruiken.

Het kader is een dikke lijn (0,7 mm) die 10 mm binnen het papier getekend wordt. Bij grote maten wordt 20 mm aangehouden. Verder zie je vaak dat aan de linkerzijde van het papier steeds 20 mm kader aangehouden wordt. Dat is met name handig wanneer de tekeningen ingebonden moeten worden (zie verderop). Van oudsher is de ruimte buiten het kader bedoeld om het tekenpapier op de tekentafel te plakken. Die functie heeft het nu uiteraard niet meer, maar toch wordt er altijd een kader gebruikt, als begrenzing van de tekening (NEN-EN-ISO 5457).

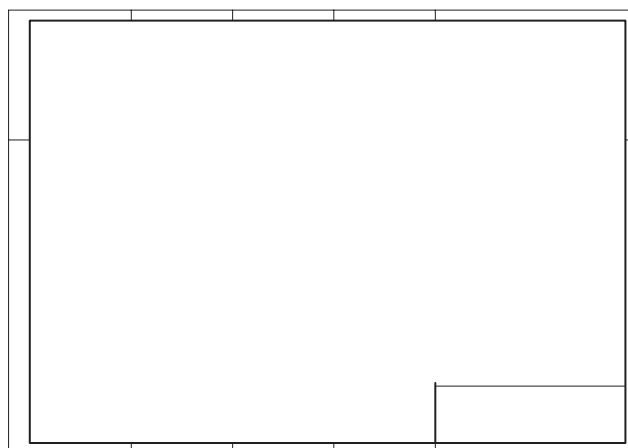
Merk op dat in de voorbeelden in dit boek het kader steeds als twee lijnen getekend wordt. Ook als je in een CAD-programma een template opent, bestaat het kader vaak uit twee lijnen. De buitenste lijn is daarbij steeds de papiermaat, de binnenste het kader. Als je tekeningen plot, gebeurt dat vaak op papier dat groter is dan de echte A-formaten. Je moet de tekening dan zelf uitsnijden. Daarvoor gebruik je de buitenste lijn van het kader.

In het kader kom je vaak dunne lijntjes tegen. Die lijntjes kunnen drie functies hebben.

- 1 Centreertekens. Deze geven het midden van het tekenvel aan.
- 2 Een roosterverdeling. Net zoals dat bij landkaarten gebeurt, wordt soms een grid aangegeven, meestal van 5 cm. Hier worden horizontaal letters en verticaal nummers ingezet (of omgekeerd). Zo'n roosterverdeling kan bij grote en complexe tekeningen handig zijn bij het (telefonisch) bespreken. Je kunt dan makkelijker de plaats van onderdelen van de tekening aanduiden.
- 3 Vouwlijnen. De NEN-norm schrijft voor hoe tekeningen gevouwen moeten worden. In de volgende paragraaf komen we hierop terug. Voor het gemak worden de lijnen waarop gevouwen moet worden soms in het kader geplaatst.



Figuur 2.4 Gridverdeling in het kader, hier gecombineerd met centreertekens.






Figuur 2.5 Vouwlijnen in het kader.

De rechteronderhoek, ook wel tekeninghoofd genoemd, staat (hoe kan het ook anders) altijd in de rechteronderhoek van de tekening, tegen het kader aan (NEN-EN-ISO 7200). De breedte is 180, de hoogte kan variëren, afhankelijk van welke gegevens er in opgenomen moeten worden. Sommige gegevens moeten altijd in het tekeninghoofd vermeld worden:

- Naam van het bedrijf (of bij opleidingen de school). Vaak wordt er ook een logo afgebeeld.
- Benaming van het werkstuk. Elk onderdeel dat je tekent moet een naam hebben. Meestal kies je die zelf. Zorg ervoor dat binnen één project alle onderdelen een andere benaming hebben, dat voorkomt spraakverwarringen. Kies verder logische namen. Stel, een project bevat twee asjes, dan kun je die 'Asje 1' en 'Asje 2' noemen, maar dat zegt niets. Je kunt ook kiezen voor 'Asje groot' en 'Asje klein'. Dat zegt al iets meer, maar verreweg het duidelijkst is 'As Ø6' en 'As Ø8' (probeer verkleinwoorden te vermijden).

- Tekeningnummer. De tekeningen moeten genummerd worden. Meer hierover volgt in paragraaf 2.5.
- Formaat van de tekening. Een aanduiding dus als 'A2' of 'A0'. Een dergelijke aanduiding lijkt onzinnig, maar juist bij het gebruik van CAD-systemen is het nuttig. Het is heel eenvoudig om een A1-tekening op A2-formaat te plotten. Het verschil zul je niet altijd meteen zien, maar kan wel tot grote verwarring leiden. De formaataanduiding geeft dan uitsluitend.
- Projectiemethode. Met een tekeningetje (een kegel-tje in twee aanzichten) wordt aangegeven welke projectiemethode gebruikt is. Het tekeningetje kan soms wel een geheugensteuntje zijn, als je even niet meer weet hoe het ook al weer zat met die projecties.
- Schaal. De schaal waarop het grootste deel van de tekening gemaakt is. Hierop zullen we nog regelmatig terugkomen
- Maateenheid. In de werktuigbouwkundige wereld werken we altijd in millimeters (mm).
- Datum.
- Getekend. Hier wordt bedoeld: 'wie heeft de tekening gemaakt' en niet 'getekend voor gezien' of iets dergelijks. Dat wordt nog wel eens door elkaar gehaald. In bedrijven worden hier meestal alleen de initialen ingevuld.
- Gezien. Initialen van degene die de tekening gecontroleerd heeft.
- Opmerkingen. Hier kun je allerlei opmerkingen over de tekening of het getekende product kwijt. Eventueel kun je hier ook invullen wat er naderhand gewijzigd is in de tekening.
- Materiaal. Het materiaal waarvan het product gemaakt is.

Pos.nr.	Aantal	Benaming	Materiaal	Afmetingen	Opmerking
Ruwheid vlg. NEN 3634		Maattol. vlg. NEN-ISO 406	Vorm- en plaatstol. vlg. NEN-ISO 1101	Materiaal	Opmerking
Amerik. projectie 		Schaal 		Getekend	
		Maateenheid		Gezien	
		Datum		Project	
		ACADEMIC SERVICE Producttekenen en -documenteren	Benaming	Tek.nr.	A4

Figuur 2.6 Voorbeeld van een rechteronderhoek.

De ruimte om informatie in te vullen is vaak erg beperkt. Als je meer informatie kwijt moet dan in de rechteronderhoek past, bijvoorbeeld over materiaal, of aanwijzingen voor de productie, dan kun je dat ook altijd ergens op het tekenvel zetten. Doe dat bij voorkeur net boven de rechteronderhoek en altijd in een kader.

Materiaal bestellen bij De Handelsmaatschappij b.v.
LET OP: Dit onderdeel moet samen met art.nr. 234.567 verpakt worden
LET OP: Gereedschap is al eerder voor art.nr. 123.456 gebruikt

Wijzigingen:
13-11-2003: diameter naar $\phi 100.5$ (P.vd.B.)
20-8-2003: lengte aangepast (Th.M.)

Figuur 2.7 Een paar willekeurige voorbeelden van opmerkingen op het tekenvel.

Naar boven toe door het tekeninghoofd lopend, komen we dan bij een regel waar aangegeven wordt welke normen voor oppervlakteruwheden, maattoleranties en vorm- en plaatstoleranties op het product van toepassing zijn. Dit zijn vaststaande normen, waarin je nooit iets zult veranderen. De normen waarnaar hier verwezen wordt, hebben betrekking op hoe de informatie op het tekenvel aangegeven wordt. Mocht je een bepaalde aanduiding niet snappen, dan kun je in de genoemde normen opzoeken wat die betekent. In de praktijk zal dat niet vaak voorkomen. Het is meer een formaliteit dat deze verwijzing altijd in het tekeninghoofd staat. Tot slot, boven aan het tekeninghoofd, treffen we een regel aan die de eerste regel van de stuklijst vormt. Hier staan achtereenvolgend de velden Stuknummer, Aantal, Benaming, Materiaal/Halffabriek, Norm/Afmetingen, Opmerking. Hoe deze regel gebruikt wordt zien we in hoofdstuk 9 over de samenstellingstekening.

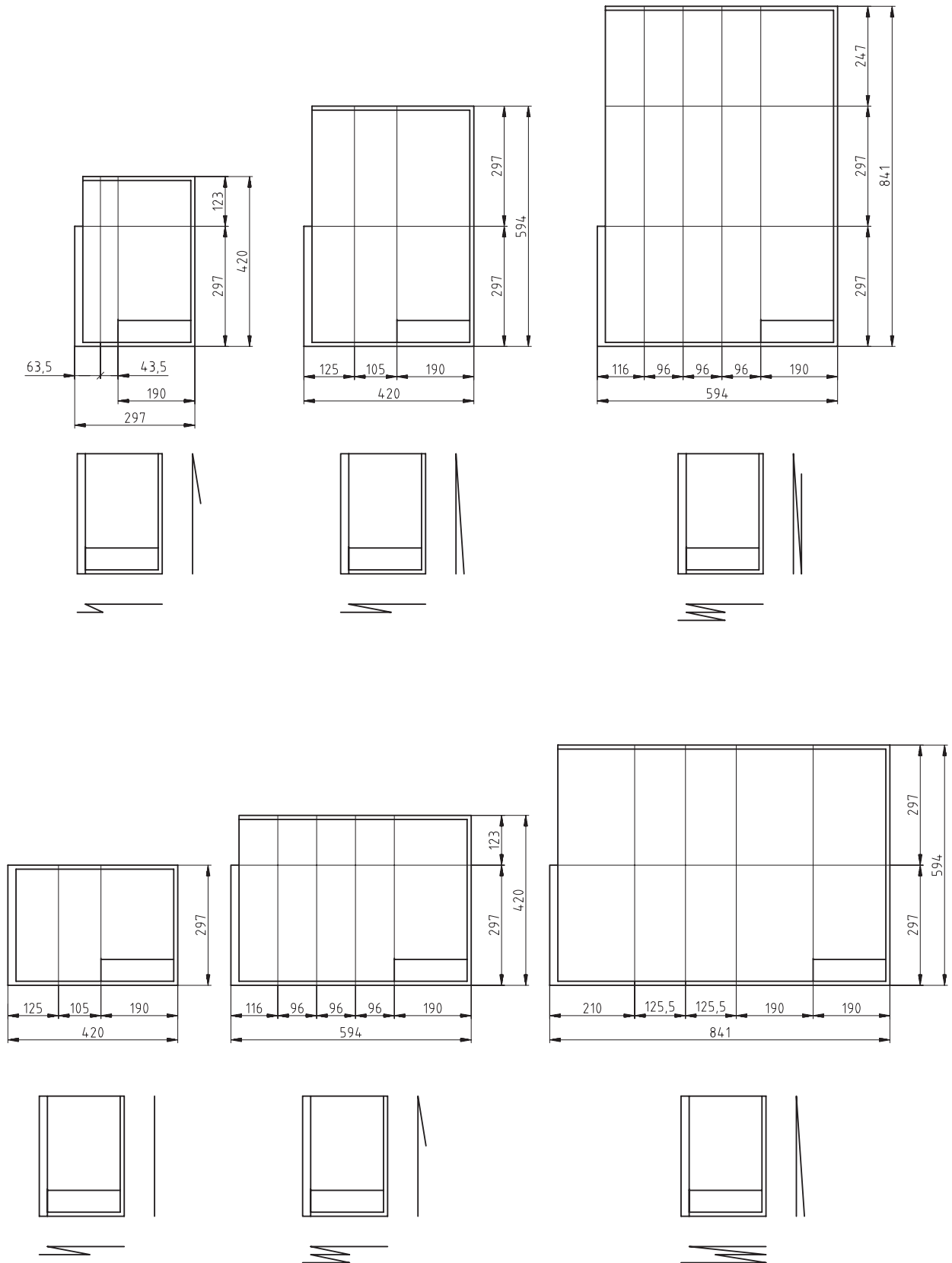
2.4 Vouwen en inbinden van tekeningen

Ook voor de manier van opvouwen van technische tekeningen die groter zijn dan A4-formaat bestaat een norm (NEN 379). Waar het bij het vouwen van tekeningen om gaat is dat je een pakketje overhoudt dat:

- A4-formaat heeft.
- Het tekeninghoofd zichtbaar aan de voorzijde heeft.

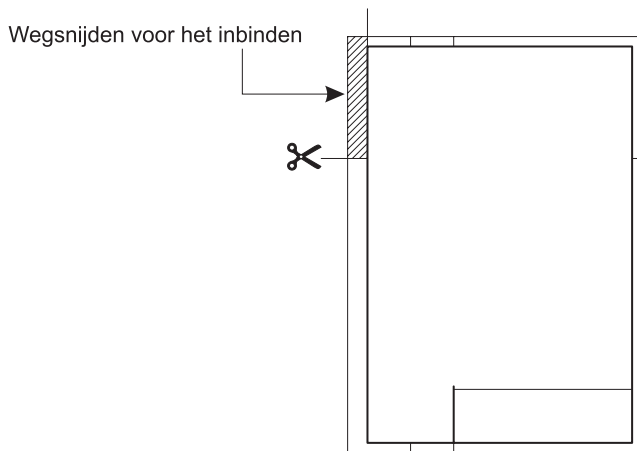
Figuur 2.8 geeft aan hoe je tekeningen moet vouwen. Maak altijd eerst de verticale vouwen. Begin met de eerste aan de kant van het tekeninghoofd en vouw deze als eerste naar achteren, zodat het tekeninghoofd zichtbaar blijft. Maak daarna zigzagsgewijs de andere verticale vouwen.

Dan maak je de horizontale vouwen: maak de eerste vouw bij het eerste vouwlijntje boven het tekeninghoofd. Vouw deze naar achteren (de rechteronderhoek moet steeds zichtbaar blijven), en vouw daarna zigzag door.



Figuur 2.8 Het vouwen van tekeningen voor de formaten A3, A2 en A1, liggend en staand.

Vaak zul je tekeningen moeten inbinden, omdat ze deel uitmaken van een verslag of rapport. In dat geval vouw je ze op dezelfde wijze. Je moet nu alleen aan de linkerzijde van het papier het bovenste deel van het kader wegsnijden, zodat alleen de onderste 297 mm (de hoogte van een A4'tje) blijft zitten. Daarin kun je dan een perforatie, nietjes of verlijming aanbrengen.



Figuur 2.9 Om een tekening (na het vouwen) in te kunnen binden, moet het gearceerde deel van het kader weggesneden worden. In figuur 2.8 is ook steeds het weg te snijden gedeelte weggelaten.

2.5 Nummering van tekeningen

Tekeningen, vooral wanneer ze onderdeel zijn van een groter project, worden altijd genummerd. Hoe het nummeren gebeurt, is volledig afhankelijk van de omgeving waarin je werkt. Wanneer je binnen je opleiding een niet te ingewikkeld product tekent, met bijvoorbeeld een samenstellingstekening en een stuk of vijf monotekeningen, dan kun je de samenstellingstekening nummer 0 geven, en de monotekeningen 1 tot 5. Ook gebruikelijk is het om de samenstellingstekening een nummer te geven (bijvoorbeeld 125) en de afgeleide monotekeningen te nummeren als: 125-01, 125-02, 125-03, enzovoort.

Wanneer je een complex product moet tekenen, met meerdere sub-samenstellingstekeningen, zou je de nummeringsmethodiek uit tabel 2.2 aan kunnen houden. Het voordeel van dit systeem is dat de relatie tussen alle tekeningen uit het nummer af te leiden is. Bijvoorbeeld: als je monotekening 01102 hebt, stamt die af van sub-samenstelling 01100. Bovendien kunnen steeds tekeningen ingevoegd worden zonder dat andere tekeningnummers aangepast moeten worden.

Bedrijven hebben vaak een eigen nummeringsysteem, dat op heel uiteenlopende manieren kan werken, bij-

voorbeeld op basis van toeleverancier, of op basis van soort onderdeel.

Waar je in de praktijk zeker mee te maken krijgt, zijn revisies. Een tekening is klaar, en wordt vrijgegeven voor gebruik, maar naderhand moet er toch nog iets gewijzigd worden. Om te beginnen is het gebruikelijk om op het tekenvel aan te geven wat er gewijzigd is. Dat kun je vermelden bij 'Opmerkingen' in de rechter-onderhoek, of, als het om meerdere of omvangrijke wijzigingen gaat, in een kadertje op het tekenvel (zie figuur 2.7). De revisie wordt echter ook weergegeven in het tekeningnummer, door achter het tekeningnummer een punt te zetten, met daarachter een cijfer of een letter. Het tekeningnummer zou dan bijvoorbeeld 00202.c kunnen worden, wat aangeeft dat het de derde revisie is.

Voor het beheer van tekeningen wordt tegenwoordig steeds vaker gebruikgemaakt van Product Data Management (PDM) systemen. Dergelijke systemen werken meestal nauw samen met het CAD-programma. Het gevolg is dat wanneer je een tekening op wilt slaan, je meteen allerlei gegevens in moet voeren, zoals:

- Wat is het voor een onderdeel?
- In welk product wordt het gebruikt?
- Eventueel informatie over prijs, leverancier en gewicht.
- Andere gegevens, zoals de datum, degene die het getekend heeft, en het tekeningnummer worden door het systeem zelf bepaald.

Een PDM-systeem heeft talloze andere functies die maken dat het (zeker voor grotere bedrijven) onmisbaar is. Het gaat te ver om deze functies in dit boek uitgebreid te beschrijven, maar een paar willen we er toch nog noemen:

- Een PDM-systeem houdt revisies bij en zorgt ervoor dat nooit met verouderde, of met nog niet-goedgekeurde versies van de tekening gewerkt kan worden.
- Een PDM-systeem zorgt ervoor dat een tekening door de juiste verantwoordelijken gecontroleerd wordt voordat deze vrijgegeven wordt voor gebruik.
- Een PDM-systeem kan automatisch een stuklijst genereren en eventueel een prijs en een gewicht van een product calculeren.
- Wanneer een PDM-systeem gekoppeld wordt aan bedrijfsautomatiseringssoftware (ERP) kan klantgestuurde productie automatisch aangestuurd worden

Nogmaals, de mogelijkheden van PDM-systemen zijn groot en dit zijn maar een paar van de toepassingen.

Hoofd	Sub	Sub-sub	Sub-sub-sub	
00000				00001
				00002
	00100			00101
				00102
		01100		01101
				01102
		01200		01201
				01202
			12100	12101
				12102
				12103
			12200	12201
				12202
	00200			00201
				00200
		02100		02101
				02102
		02200		02201
			22100	22101
				22102
			22200	22201

Tabel 2.2 Voorbeeld van een nummeringsysteem bij ingewikkelde tekenprojecten.