

1 Aufgaben und Spezifik der Inbetriebnahme

1.1 Definitionen der Inbetriebnahme und des Anfahrens

Der Begriff **Inbetriebnahme** wird sowohl in der Fachliteratur als auch in der Praxis noch unterschiedlich gebraucht. Eine allgemein anerkannte und praktikable Begriffsdefinition setzt sich nur langsam durch, obwohl in den letzten Jahren, auch unter Mithilfe des vorliegenden Buches und der Seminartätigkeiten des Autors, erkennbare Fortschritte erreicht wurden. Neben dem Begriff Inbetriebnahme werden zahlreiche andere Worte, wie Anfahren, Probetrieb, Inbetriebsetzung, Warmstart als Synonyme verwandt.

Eine Ursache für diesen unbefriedigenden Zustand wird insbesondere darin gesehen, dass die Inbetriebnahmethematik vergleichsweise zu anderen Fachgebieten des Maschinen- und Anlagenbaues nur wenig wissenschaftlich betrachtet wurde.

Ferner sind die konkreten Aufgaben, die während der Inbetriebnahme erfolgreich zu lösen sind, wesentlich vom in Betrieb zu nehmenden Gegenstand bzw. System abhängig. Dementsprechend wurden auch die Begriffsdefinitionen mehr oder weniger spezifisch formuliert.

Zur Veranschaulichung sei nachfolgend eine Definition aus dem Bereich des Maschinenbaus nach [1-1] angeführt.

In der betrieblichen Praxis fällt der Inbetriebnahme die Aufgabe zu, die montierten Produkte termingerecht in Funktionsbereitschaft zu versetzen, ihre Funktionsbereitschaft zu überprüfen und soweit sie nicht vorliegt oder nicht gesichert ist, diese herzustellen.

Zur Inbetriebnahme zählen alle Tätigkeiten beim Hersteller und Anwender von Werkzeugmaschinen, die zum Ingangsetzen und zur korrekten Funktion von zuvor montierten und auf vorschriftsmäßige Montage kontrollierten Baugruppen, Maschinen und komplexer Anlagen zu zählen sind.

Die Überprüfung des korrekten Zustandes, der ordnungsgemäßen Montage und der Funktionstüchtigkeit von Einzelteilen zählt nicht zur Inbetriebnahme, sondern ist Bestandteil der Qualitätssicherung.

Diese Definition wurde in Zusammenhang mit der Inbetriebnahme komplexer Maschinen und Anlagen der Einzel- und Kleinserienfertigung, d. h. einem Prozess der stoffverarbeitenden Industrie, benutzt.

Abweichend dazu wird im vorliegenden Buch der Begriff Inbetriebnahme stets auf verfahrenstechnische Systeme als Gesamtheit des verfahrenstechnischen Prozesses und der verfahrenstechnischen Anlage bezogen.

Die Wesensmerkmale der verfahrenstechnischen Anlagen, die zugleich die Inbetriebnahme gravierend beeinflussen, sind insbesondere:

- die Durchführung von Stoffänderungen und Stoffumwandlungen in diesen Anlagen mit Hilfe zweckgerichteter physikalischer, chemischer und biologischer Wirkungsabläufe [1-2],
- eine große Komplexität und Kompliziertheit der Anlagen; dies trifft sowohl die stoffliche und energetische Verflechtung und Kopplung als auch die konstruktive Gestaltung der einzelnen Komponenten,
- der häufig anzutreffende unikat Charakter,
- die Notwendigkeit zur Anwendung von verschiedenartigen, integrativen Fachwissen während des Lebenszyklus der Anlagen,
- das Vorhandensein eines umfangreichen Rohrleitungssystems zum Transport der Stoffe innerhalb der Anlagen sowie über die Anlagengrenzen hinweg,
- der große Umfang und die Ganzheitlichkeit der Informationsverarbeitung während des Anlagenbetriebes; typisch ist die Anwendung einer hierarchisch aufgebauten Leittechnik zur Gewährleistung eines effizienten Produktionsprozesses aus der Sicht des Unternehmens,
- die Größenordnung derartiger Anlagen und ihrer Komponenten; zu nennen sind in diesem Zusammenhang u. a. die oftmals erheblichen territorialen Ausdehnungen sowie die Größe der Ausrüstungen,
- die erheblichen Auswirkungen der verfahrenstechnischen Anlagen auf die Menschen, die Wirtschaft und die Umwelt, auch über die Anlagengrenzen hinaus.

Ein Anliegen dieses Buches ist es, die Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen möglichst eindeutig und in klarer Abgrenzung zu den anderen Projektphasen zu definieren. Dabei wird zugleich versucht, die Gegebenheiten und Erfahrungen der Praxis weitgehend zu berücksichtigen.

Ausgehend von dieser Zielstellung werden im vorliegenden Buch die folgenden Begriffsdefinitionen bezüglich der Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen formuliert und benutzt:

Inbetriebnahme ist die Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand in den Dauerbetriebszustand.

Erstinbetriebnahme ist die Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand nach MECHANISCHER FERTIGSTELLUNG in den Dauerbetriebszustand nach der Anlagenübergabe/-übernahme.

Wiederinbetriebnahme ist die Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand nach Abstellung (Stillstand) in den Dauerbetriebszustand.

Für die weiteren Ausführungen sind dabei folgende Aspekte bedeutungsvoll.

- Die allgemeine Definition der Inbetriebnahme in der o. g. Form ist für die konkrete Problemlösung bei der Inbetriebnahmepreparation und -durchführung wenig hilfreich.

Im Zusammenhang mit einer Anlageninvestition geht es vorrangig um eine effiziente Erstinbetriebnahme, während beim Anlagenbetrieb eine reibungslose Wiederinbetriebnahme wichtig ist.

- Die Erstinbetriebnahme einer verfahrenstechnischen Anlage ist im Allgemeinen wesentlich komplizierter als ihre Wiederinbetriebnahme. Sie schließt die letztere weitgehend mit ein und steht im Mittelpunkt dieses Buches.
- Auf einige Besonderheiten der Wiederinbetriebnahme wird in Abschn. 5.7 eingegangen.
- Als Gegenstand bzw. Objekt der Inbetriebnahme wird die **verfahrenstechnische Anlage** angesehen, wobei darunter im weitesten Sinne ein **verfahrenstechnisches System** verstanden werden soll. Das heißt, die Inbetriebnahme der Anlage schließt den **verfahrenstechnischen Prozess** mit ein.
- Die Inbetriebnahme umfasst gleichermaßen die **Herstellung der Betriebsbereitschaft**, den **Probetrieb** und den **Garantiversuch** als die drei Hauptetappen (s. Abschn. 1.4 und 5.1). Sie ist nach diesem Verständnis erst mit der Abnahme der Anlage durch den Kunden beendet.
- Das Erreichen der vom Projekt (Planung) vorgesehenen Betriebszustände ist nur ein Zwischenzustand der Inbetriebnahme.

Gemäß den vereinbarten Definitionen bezüglich der Inbetriebnahme ist sowohl ihr Beginn (als Schnittstelle zwischen Montage und Inbetriebnahme) als auch ihr Ende (als Schnittstelle zwischen Inbetriebnahme und Dauerbetrieb) eindeutig geregelt.

Diese klare Angrenzung und Schnittstellenregelung gegenüber anderen Projektphasen erleichtert wesentlich die vertragliche, organisatorisch-administrative und inhaltliche Ausgestaltung sowie die rechtskonforme, sichere und effiziente Durchführung der Inbetriebnahme. Zahlreiche Praxisbeispiele haben dies nachdrücklich bewiesen.

In Abgrenzung zur Inbetriebnahme wird für das **Anfahren** folgende Arbeitsdefinition gebraucht:

Anfahren ist die Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand nach Herstellung der Betriebsbereitschaft in einen stationären Betriebszustand, bei dem alle Anlagenteile/Verfahrensstufen funktionsgerecht arbeiten.

Das Wort „funktionsgerecht“ bezieht sich dabei auf die Funktionen im Dauerbetrieb.

Das Anfahren bezeichnet nach diesem Verständnis die Startphase (start-up) der Inbetriebnahme, d. h. im wahrsten Sinne des Wortes „das Anfahren der Anlage“.

Gleichzeitig wird damit verdeutlicht, dass das Ziel des Anfahrens nicht das Erreichen der Nennlastbedingungen ist. Es geht vielmehr um die Einstellung einer stabilen Teillastfahrweise der Anlage, die eine gewissenhafte Beobachtung und Prüfung aller Ausrüstungen gestattet sowie eine umfassende Auswertung aller Informationen zur Anlage im Hinblick der nächsten Inbetriebnahmehandlungen ermöglicht.

Eine solche Zwischenstufe (Haltepunkt) bei der Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen ist in der Praxis allgemein üblich und bewährt.

Zu den weiteren Etappen der Inbetriebnahme, die sich im Allgemeinen an das Anfahren anschließen, wird in Abschn. 5.4 ff Näheres gesagt. Zunächst sollen die Aufgaben der Inbetriebnahme konkreter analysiert werden.

1.2 Aufgaben und Zielstellungen der Inbetriebnahme

Vereinbarungsgemäß wird in diesem Buch vereinfachend der Begriff Inbetriebnahme benutzt, obwohl streng genommen eine Erstinbetriebnahme gemeint ist.

Prinzipiell ist dem erfahrenen Inbetriebnahmeingenieur zuzustimmen, der schon vor langer Zeit prägnant formulierte [1-3]:

Das wirkliche Ziel eines Inbetriebnameteams besteht darin, das Geld so bald wie möglich wieder auf die Bank zu bekommen.

Die Investitionssummen sind bei verfahrenstechnischen Anlagen i. Allg. relativ hoch – die Zinsen auf dem Kapitalmarkt auch – und deshalb muss die Anlage durch eine schnelle und möglichst reibungslose Inbetriebnahme in einen stabilen Dauerbetrieb überführt werden. Nur so kann sie Produkte in hoher Qualität und Menge erzeugen, deren Verkauf letztlich zu dem kalkulierten Gewinn für den Betreiber führt.

Trotzdem reicht diese grundsätzliche Feststellung nicht aus, um die Frage nach den Aufgaben und Zielen der Inbetriebnahme konkret und erschöpfend zu beantworten. In Abb. 1.1 wurde deshalb versucht, die allgemein gültigen Einzelaufgaben und -ziele zusammenzufassen. Sicherlich ist deren Wirkung von Fall zu Fall unterschiedlich und u. U. können auch einzelne entfallen bzw. weitere hinzukommen.

Die angeführten Schwerpunkte resultieren aus langjährigen Inbetriebnahmeerfahrungen und sollen an dieser Stelle nur kurz erläutert werden. Eine vertiefte Betrachtung erfolgt in späteren Abschnitten.

Die *Überführung der Anlage in einen vertragsmäßigen Dauerbetrieb* ist die Hauptaufgabe der Inbetriebnahme.

Dabei sind möglichst *kurze Inbetriebnahmezeiten* verbunden mit *geringen Kosten* zu erreichen.

Die Inbetriebnahme ist für alle Beteiligten eine außerordentlich „lehrreiche“ Phase. Trotz umfangreicher Unterweisungen, Training an Simulatoren, Aufhalten in ähnlichen Anlagen u. a. Maßnahmen in Vorbereitung der Inbetriebnahme stellt die „heiße“ Inbetriebnahme die intensivste und praktisch relevante Phase der *Ausbildung und Einarbeitung des Betriebspersonals* dar.

Die Befähigung des Betreibers, die neue Anlage fachkundig und zielorientiert nutzen zu können, ist eine Hauptaufgabe der Inbetriebnahme. Diesen Sachverhalt sollten Auftraggeber (Käufer, Kunde) und Auftragnehmer (Verkäufer) gleichermaßen in ihrem eigenen Interesse beachten und ggf. vertraglich ausgestalten.

Verfahrenstechnische Prozesse beinhalten nicht selten ein erhebliches Gefahrenpotenzial für den Menschen und die Umwelt. Mit der Anlagenplanung und insbesondere im Genehmigungsverfahren ist nachzuweisen, dass in der vorgesehenen Anlage derartige Gefahren nicht bestehen bzw. durch geeignete technische, organisatorische u. a. Sicherheitsmaßnahmen zuverlässig vermieden bzw. beherrscht werden.

Während der Inbetriebnahme muss der *Nachweis der Betriebssicherheit* gegenüber dem Kunden praktisch bestätigt werden.

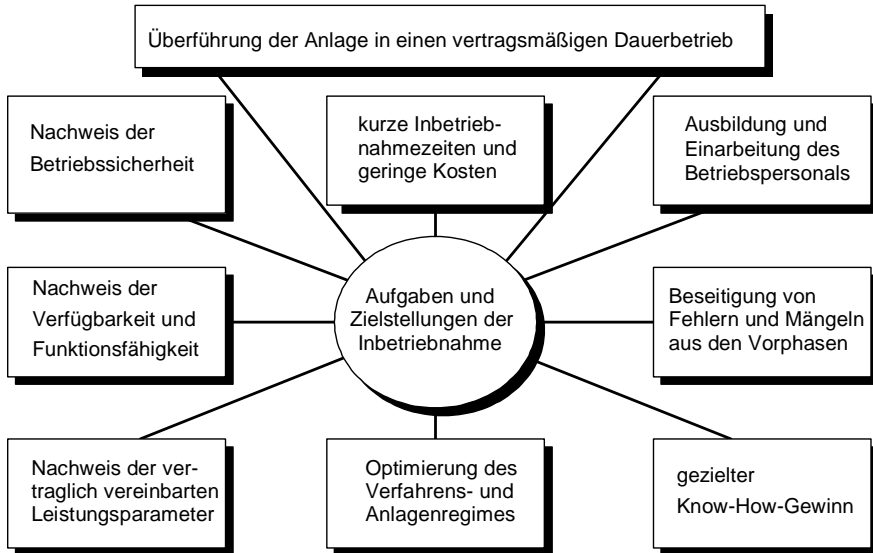


Abb. 1.1 Aufgaben und Zielstellung der Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen

Die außergewöhnlichen Bedingungen und Zustände bei der Inbetriebnahme, das notwendige Reagieren auf Störungen, die hohe Belastung der Ausrüstungen und der beteiligten Personen sind ein echter Härtestest für die Betriebssicherheit.

Insbesondere sollte in verfahrenstechnischen Anlagen die Inbetriebnahme gezielt zur Testung der Betriebssicherheit, z. B. der Stabilität und Sensibilität der Anlage und einzelner Elemente außerhalb des Nennzustandes genutzt werden. Ferner sind die Auswirkungen wichtiger Störgrößen auf den sicheren und vertragsgerechten Anlagenbetrieb nach Möglichkeit zu erproben. Dies schließt auch die Fragen der Qualitätssicherung ein.

Nicht zuletzt müssen während der Inbetriebnahme die Sicherheitssysteme, wie die Notabschalt-, Entspannungs- und Entleerungssysteme oder die Sicherheitssteuerungen, aktiv überprüft werden. Dies betrifft auch das Testen bzw. Trainieren vorgesehener Schutz- und Bekämpfungsmaßnahmen.

Der *Nachweis einer ausreichenden Verfügbarkeit* der Anlage und ihrer Komponenten, der in der Regel während des Garantieversuches zu erbringen ist, dient als indirekter Beleg für einen zu erwartenden zuverlässigen und störungsfreien Anlagenbetrieb. Dieser Nachweis ist eine von vielen Voraussetzungen, um die geplante Anlagenkapazität zu erreichen sowie das vorgegebene Instandhaltungsbudget einzuhalten.

Die *Herstellung der Funktionstüchtigkeit* bezieht sich auf die funktionsgerechte Arbeitsweise der Anlage und ihrer Komponenten. Sie ist häufig in Verbindung mit einer Gewährleistung bzw. mechanischen Garantie nachzuweisen.

Störungen und Schäden während der Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen liegen zu über 85 % in *Fehlern und Mängeln aus den Vorphasen* begrün-

det [1-4]. Die Ursachen sind verschieden und teils subjektiver, aber auch objektiver Art. Einige Gedanken sollen dies verdeutlichen.

- Bei der Planung und dem Bau einer verfahrenstechnischen Anlage muss ein Kompromiss zwischen dem Wunsch nach einer fehlerfreien „idealen Anlage“ und den zulässigen Kosten gefunden werden. Der Qualitäts- und Zuverlässigkeitsstandard, wie er bei der Raumfahrt oder der Kernenergietechnik anzutreffen ist, würde die Investkosten vervielfachen und ist nicht realisierbar. Das heißt, der Anlagenplaner und -bauer muss wegen der Markt- und Wettbewerbssituation ein Risiko eingehen, dessen negative Auswirkungen sich häufig während der Inbetriebnahme zeigen.
- Viele Trends im Anlagenbau, wie
 - der zunehmende Wettbewerb und Kostendruck,
 - die weltweite Arbeitsteilung und Kooperation,
 - die Verkürzung der Planungs- und Realisierungszeiten,
 - der vorrangige Bau von Einstranganlagen, d. h. die Verringerung von Redundanz in der Anlage,
 - die zunehmende Komplexität und insbesondere die stofflichen und energetischen Rückkopplungen bei der Anlagengestaltung,
 - der Einsatz sowie die Herstellung von Rohstoffen bzw. Produkten mit immer höheren Qualitätsanforderungen,
 - der Verzicht bzw. zumindest die deutliche Reduzierung von „Puffervolumina“ zwischen einzelnen Verfahrensstufen bzw. Ausrüstungen, sodass sich Störungen unverzüglich fortpflanzen können,

sind in vielen Fällen *neue Ursachen* für Fehler und Mängel.

Natürlich versuchen die Engineering-, Hersteller- und Montagefirmen durch ein ausgereiftes Projekt- und Qualitätsmanagement, durch vertiefte theoretische Durchdringung der Verfahren und Konstruktionen oder durch eine umfassende Qualifizierung der beteiligten Kräfte usw. derartige Fehler möglichst zu beseitigen.

Trotzdem zwingt der wirtschaftlich begründete Fortschritt stets zu neuen Entwicklungen und damit auch zu neuen Risiken.

Dass beispielsweise renommierte Firmen, nachdem sie viele Anlagen nach dem gleichen Verfahren erfolgreich realisiert haben, plötzlich bei der Inbetriebnahme einer weiteren Anlage Probleme bekommen, belegt eine solche Einschätzung. Sie verdeutlicht auch, dass im Prinzip jede verfahrenstechnische Anlage, trotz zahlreicher Referenzen, als Unikat zu betrachten ist.

Der Inbetriebnehmer muss sich auf diese Situation möglichst vorbeugend und weniger operativ einstellen und damit leben. Die Erfahrung zeigt, dass die meisten Störungen nicht problematisch sind und bei einem guten Inbetriebnahmemanagement auf der Baustelle gelöst werden können.

Schwieriger ist es bei gravierenden Mängeln im Verfahren, wenn z. B.

- Nebenproduktbildungen übersehen wurden,
- sich unerwartete Anreicherungen in Produkten und Kreislaufströmen einstellen,

- Ablagerungen/Verkrustungen an Behälterwänden, Rührkesseln, Wärmeübertragern auftreten,
- Verunreinigungen u. ä. zu geringen Standzeiten der Katalysatoren bzw. Adsorbentien führen,

oder auch bei Mängeln in der Funktion von Hauptausrüstungen, wenn

- durch falsche Werkstoffwahl erhebliche Korrosion auftritt oder
- beim Probelauf von Maschinen unzulässig hohe Schwingungen beobachtet werden.

In solchen Fällen sind nicht selten lange Inbetriebnahmezeiten und überhöhte Kosten die Folge. Es sind auch Anlagen bekannt, die wegen derart gravierender Mängel überhaupt nicht in Betrieb gingen.

Die Aufgabe der *Optimierung des Verfahrens- und Anlagenregimes* ist als eine Ermittlung und Einstellung vorteilhaften Betriebsbedingungen (Verfahrensfluss, Anlagenschaltung, Verfahrens- und Ausrüstungsparameter) im Sinne der vertraglichen Zusagen und nicht als mathematisch bestimmtes Optimum zu verstehen.

Diese Teilaufgabe ist insbesondere dann bedeutend, wenn der technologische und/oder technische Neuheitsgrad des Verfahrens und/oder der Anlage hoch sind. Durch systematische Auswertung der Messwerte während des Probetriebes sind z. B. Maßnahmen zur Erzielung hoher Produktqualitäten bzw. -ausbeuten, geringer Material- und Energieverbräuche, stabiler Arbeitsweisen der Verdichter, Kolonnen u. a. abzuleiten.

Eng verbunden mit der Optimierung des Betriebsregimes ist der *gezielte Know-how-Gewinn* während der Inbetriebnahmezeit.

Natürlich muss jederzeit die vertragsgemäße Inbetriebnahme im Mittelpunkt aller Aktivitäten des Inbetriebnahmeteam stehen. Trotzdem gestatten die meisten Inbetriebnahmen, integriert in diese vorrangigen Bemühungen und ohne nennenswerte zusätzliche Kosten, viele Möglichkeiten für gezielte experimentelle Untersuchungen.

Dies kann beispielsweise die verfahrenstechnische Funktion von Ausrüstungen im Anfangszustand oder die Messwerterfassung bei notwendigen Sonderfahrweisen betreffen. Man könnte sagen, die Inbetriebnahme ermöglicht de facto „Großversuche“.

Wichtig ist, dass derartige wissenschaftlich-technische Untersuchungen bereits in der Planungsphase konzipiert und vorbereitet werden. Die angespannte und teils hektische Situation auf der Baustelle lässt später für die inhaltliche Vorbereitung und gedanklich vorausschauende Auswertung von Versuchen, Messfahrten u. ä. wenig Zeit und Raum.

Abschluss und Höhepunkt der Inbetriebnahme ist, insbesondere wenn der Auftragnehmer (Verkäufer) für die Inbetriebnahme verantwortlich zeichnet, der rechtsverbindliche *Nachweis der vertraglich vereinbarten Leistungsparameter*. Die Mehrzahl der Leistungsparameter wird während einer Leistungsfahrt bzw. eines Garantiever Versuches vom Verkäufer „vorgefahren“ und bildet die Grundlage für die vertragsrechtliche Übergabe/Übernahme der Anlage.

Obwohl damit die definierten Aufgaben und Zielstellungen der Inbetriebnahme erbracht sind, wirken bei verfahrenstechnischen Anlagen im Allgemeinen noch bestimmte Garantien fort.

Das kann z. B. die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit von Ausrüstungen oder Standzeitgarantien für Katalysatoren betreffen. Letztlich bedeutet dies, dass einige Garantieverprechen und somit vertraglich, juristische Verpflichtungen des Verkäufers auch nach der Inbetriebnahme fortbestehen.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass während der Inbetriebnahme-phase auch eine planmäßige Außerbetriebnahme der Anlage, ggf. auch in mehreren Varianten, vorgenommen und getestet werden muss. Dabei ist nachzuweisen, dass die Anlage gemäß den Vorgaben in der Inbetriebnahmeanleitung sowie den Herstellerangaben auf eine wirtschaftliche und „schonende“ Art und Weise außer Betrieb genommen werden kann.

1.3 Einordnung der Inbetriebnahme in den Lebenszyklus der Anlage

Der **Lebenszyklus** einer Anlage umfasst den Zeitraum von der Grundlagenermittlung, über das Engineering, die Beschaffung und Errichtung der Anlage bis zur Stilllegung, Demontage und Entsorgung derselben nach Beendigung der Produktion (s. Abb. 1.2).

Die Phase des Dauerbetriebes ist zweifellos für den Betreiber die ausschlaggebende, da zu diesem Zeitpunkt der Gewinn erzielt wird und die investierten Mittel zurückfließen. Trotzdem baut diese jedoch auf die vorangegangenen Etappen der Planung, Montage und Inbetriebnahme auf.

Obwohl der Inbetriebnahmezeitraum im „Leben“ einer verfahrenstechnischen Anlage nur 1-3 % ausmacht, so kommt ihm doch eine Schlüsselrolle zu, denn hier müssen die Arbeitsergebnisse der Vorphasen umgesetzt werden in eine hohe Effektivität der Dauerbetriebsphase.

Im Grunde stellt die Inbetriebnahme das Bindeglied zwischen der Vorbereitung und Nutzung einer Anlage dar.

Einige wichtige Wechselwirkungen der Inbetriebnahme mit den anderen Phasen des Lebenszyklus einer Anlage sollen in Tabelle 1.1 verdeutlicht werden.

Die tabellarischen Angaben sollen gleichzeitig belegen, dass eine ganzheitliche Problemstellung und -lösung zum Gegenstand **verfahrenstechnische Anlage** erforderlich ist.

In der Praxis, wie in einem Großteil der Fachliteratur, ist dies leider oft nicht der Fall. Während man die Inbetriebnahme häufig unterschätzt, wird der Rückbau teilweise ganz vernachlässigt. Die Folgen sind dann erhöhte Kosten, die beispielsweise bezogen auf den Rückbau einzelner Großanlagen noch die nächsten Generationen belasten werden.

Der Begriff „Lebenszyklus“ einer Anlage erscheint in diesem Zusammenhang gut geeignet, die notwendige Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes am Standort zu charakterisieren.

Tabelle 1.1 Wechselwirkungen zwischen Inbetriebnahme und anderen Phasen des Lebenszyklus einer Anlage

	Ziel	Wirkung auf Inbetriebnahme	Wirkung durch Inbetriebnahme
Planung/ Beschaffung	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungsfindung zum Erreichen der Investitionsziele • Erarbeitung der Grundlagen zum Bau und Betrieb der Anlage 	<ul style="list-style-type: none"> • weitgehende Festlegung des Inbetriebnahmeablaufes • bestimmt die Effizienz der Inbetriebnahme sehr wesentlich • Planungsfehler sind meistens signifikant und aufwändig zu beseitigen 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfordernis der inbetriebnahmegerichten Planung • Korrekturmöglichkeiten von Planungsfehlern • Erfahrungsrückfluss zur Planung • praktische Bestätigung wesentlicher Planungsergebnisse
Montage (incl. Bau)	<ul style="list-style-type: none"> • Errichtung der Anlage 	<ul style="list-style-type: none"> • bestimmend für Beginn der Inbetriebnahme • Montagequalität beeinflusst wesentlich Inbetriebnahme • schließt Arbeiten zur Inbetriebnahmevorbereitung ein 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfordernis der inbetriebnahmegerichten Montage • Handlungen zur Inbetriebnahmevorbereitung werden durchgeführt • Inbetriebnahmepersonal unterstützt Montagepersonal bei Prüfungen • Erfahrungsrückfluss zur Montage
Dauerbetrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Gewinnerwirtschaftung • Rückfluss der Investitionsmittel 	<ul style="list-style-type: none"> • Termindruck • fixiert den Endzustand der Inbetriebnahme • beeinflusst Untersuchungen während Inbetriebnahme • setzt sicherheitstechnische u.ä. Anforderungen • ermöglicht z.T. die Verarbeitung von nichtqualitätsgerechten Produkten und Abprodukten 	<ul style="list-style-type: none"> • beeinflusst Zeitpunkt und Höhe der Gewinnerwirtschaftung (Einlaufkurve) • beeinflusst Funktionstüchtigkeit der Ausrüstungen und Anlage • Optimierung des Betriebsregimes • Ermittlung von Engpässen und Störquellen • Erkenntnisgewinn für spätere Außer-/Wiederinbetriebnahme
Rückbau	<ul style="list-style-type: none"> • Demontage und Entsorgung der Anlage • Bereitstellung des Standortes 	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Inbetriebnahme ohne bleibende Umweltbeeinflussung 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrungen aus der Inbetriebnahme nutzbar

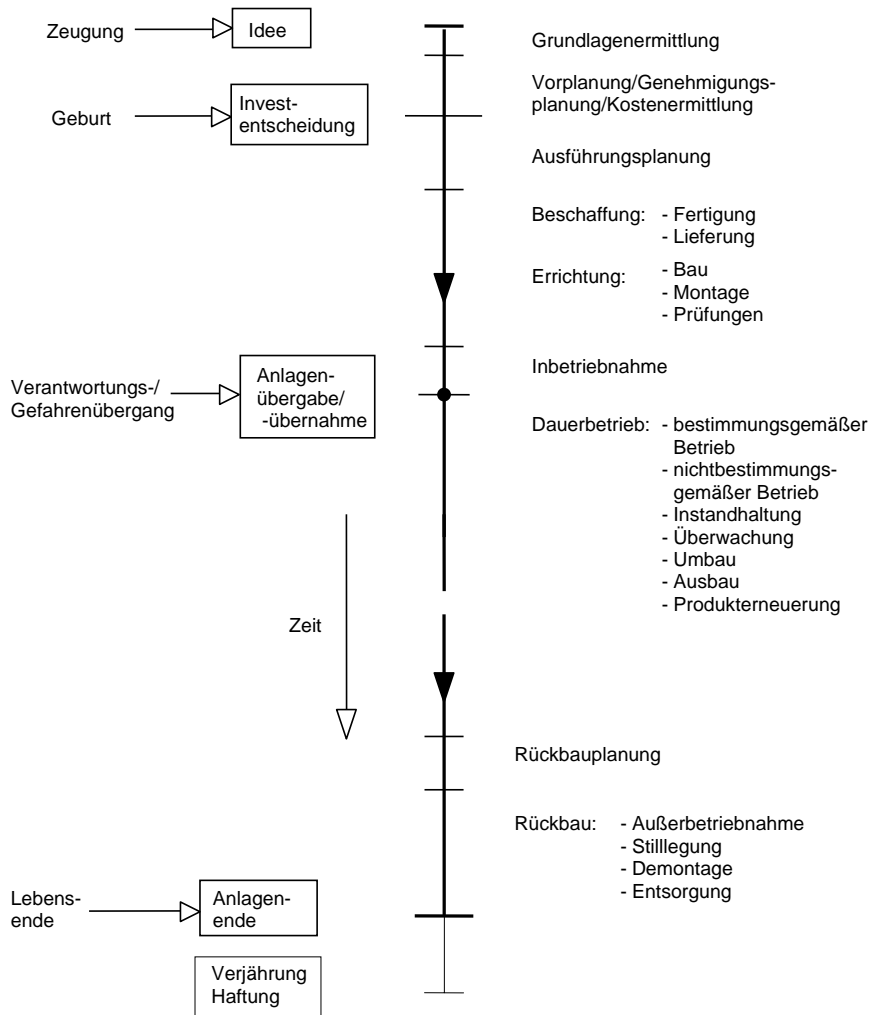


Abb. 1.2 Darstellung des Lebenszyklus einer verfahrenstechnischen Anlage

1.4 Hauptphasen und Meilensteine der Inbetriebnahme

Die wichtigsten Phasen und Meilensteine während der Inbetriebnahmepreparierung und Inbetriebnahmedurchführung der Gesamtanlage sind schematisch in Abb. 1.3 dargestellt. Ausgehend vom Lebenszyklusmodell der Anlage werden, fokussiert auf die inbetriebnahmespezifischen Aspekte, zunächst die Projektphasen **Errichten**, **Inbetriebnahme** und **Betrieb** unterschieden.

Das **Errichten** der Anlage umfasst definitionsgemäß alle Arbeiten auf der Baustelle, die im Zeitraum von der Baustelleneröffnung bis zum Inbetriebnahmebeginn (MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG) erbracht werden. Dazu gehören insbesondere die Bau- und Montagearbeiten sowie die weitgehende Abarbeitung der Sicherheits- und Funktionsprüfungen. Viele Tätigkeiten bis zum Zeitpunkt MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG sind zugleich wichtiger Bestandteil einer systematischen **Inbetriebnahmevorbereitung**.

In Kapitel 4 wird auf diese Arbeiten zur Inbetriebnahmevorbereitung, die insbesondere begleitend zur Gesamtmontage durchgeführt werden, ausführlich eingegangen.

Um die Sicherheits- und Funktionsprüfungen, Reinigungsmaßnahmen, Dichtigkeitsprüfungen usw. durchführen zu können, müssen zuvor einige Nebenanlagen in Betrieb genommen werden. Dies betrifft ggf.

- Schaltanlagen zur Spannungsversorgung der elektrischen und MSR-seitigen Betriebsmittel,
- Infrastrukturleitungen und Mediensysteme für Hilfsstoffe (Steuerluft, Stickstoff) und Energien (Kühlwasser, Dampf, Kondensat, Heißwasser, Erdgas, Heizöl, Wärmeträgeröl),
- Nebenanlagen zur Bereitstellung von Druckluft für das Ausblasen der Anlagenteile,
- Nebenanlagen zur Herstellung und Bereitstellung von Reinstwasser für das Spülen der Anlagenteile (z. B. in Pharmaanlagen) bzw. zur Aufnahme und Entsorgung von Schmutzwasser,
- Nebenanlagen zur Durchführung von Heiz- und Passivierungsarbeiten sowie zur anschließenden Konservierung von Anlagenteilen.

In der Praxis bedeutet dies, dass einzelne Teilanlagen (z. B. als Package-units eingekauft) bereits funktions- und leistungsgerecht in Betrieb sind, obwohl die Gesamtanlage noch nicht die MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG erreicht hat. Darin steckt Konfliktpotential betreffs wichtiger rechtsrelevanter und kostenrelevanter Fragen, wie sie sich beispielsweise im Turnkey-Vertrag zwischen den Generalunternehmer und den Subunternehmern stellen können (s. Abschn. 3.3 und 4.5.3).

Die in Abbildung 1.3 dargestellten Schnittstellen/Meilensteine zwischen dem Bau und der Montage sowie zwischen der Montage und den Prüfungen sind in der Praxis in folgender Weise unterschiedlich ausgeprägt:

- In der Regel gibt es für den gesamten Zeitraum der Baustelle, d. h. von ihrer Eröffnung bis zum Übergang zur Inbetriebnahme, durchgängig einen Oberbauleiter. Dem Oberbauleiter obliegt die verantwortliche Leitung *aller* Arbeiten auf der Baustelle. Eine spezielle Schnittstelle bzw. ein Meilenstein zwischen dem Bau und der Montage existiert nicht. Eine solche Führungsstruktur ist oft bei internationalen Projekten anzutreffen und setzt sich zunehmend durch.
- Bei Innlandsprojekten der chemischen und pharmazeutischen Industrie gibt es häufig in der 1. Phase der Baustelle, wo die Arbeiten des Tief-, Hoch- und Stahlbaues dominant sind, einen Bauleiter im eigentlichen Sinne.

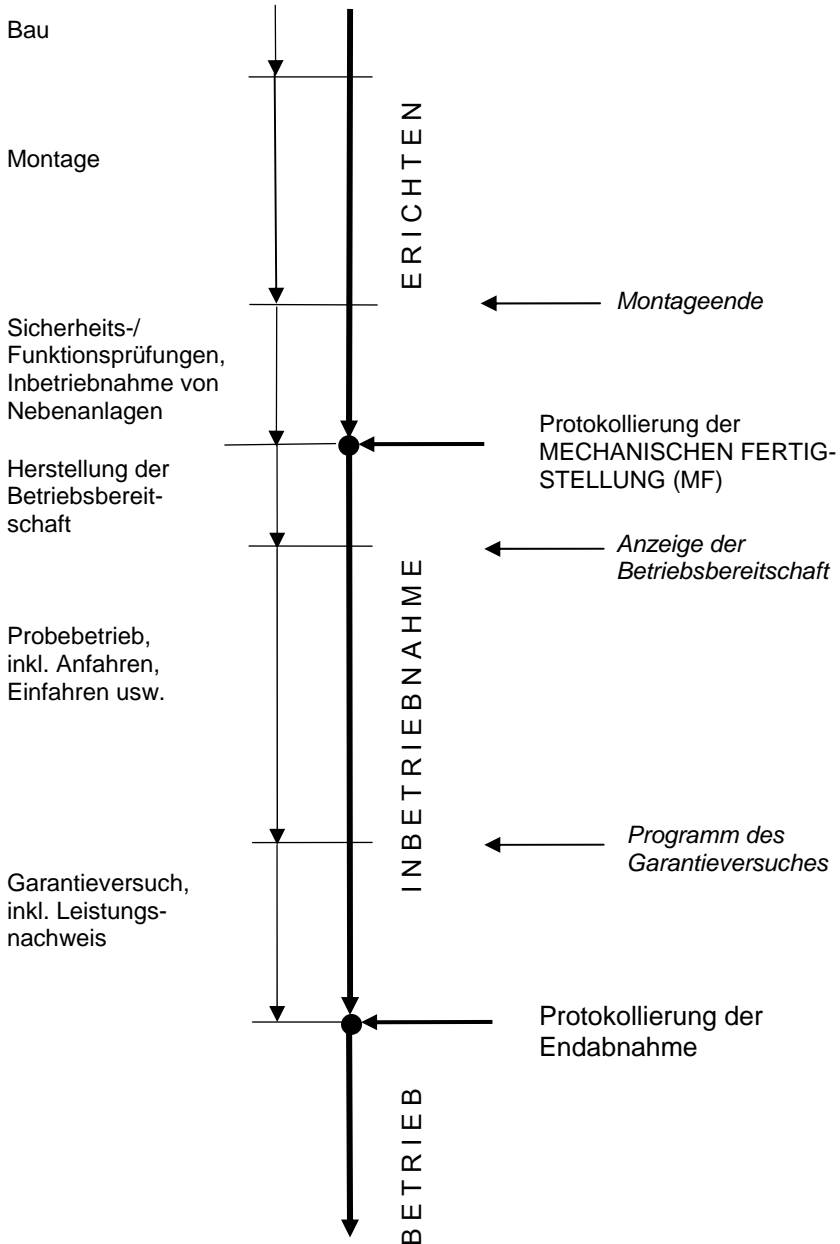


Abb. 1.3 Hauptphasen und Meilensteine der Inbetriebnahme

Dieser übergibt später die Leitung der Baustelle, wenn die Arbeiten zur Apparat-, Maschinen-, Rohrleitungs- und PLT-Montage zunehmen, in Form eines gegenseitigen Protokolls an einen Montageleiter.

Der Montageleiter bleibt bis zur MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG in der Verantwortung und übergibt seinerseits an den Inbetriebnahmeleiter. Bau- und Montageleiter sind in der Regel aus dem gleichen Unternehmen sowie auf der Auftragnehmerseite tätig.

Die Schnittstelle zwischen Bau- und Montageleiter muss inhaltlich sowie organisatorisch eindeutig definiert und geregelt sein. Da der Trend im Projektmanagement zu möglichst wenigen Schnittstellen geht, wird diese gestaffelte Baustellenleitung zunehmend weniger praktiziert.

- Eine Schnittstelle bzw. ein Meilenstein zwischen der Montage einerseits und den Prüfungen bzw. den Teilinbetriebnahmen ist selten ausgeprägt. Die meisten Sicherheits- und Funktionsprüfungen sind als Qualitätskontrolle einer sachgerechten Montage zu verstehen, d. h. sie sind inhaltlich und verantwortungsseitig eng mit der Montage verzahnt.

Der Montageleiter ist ganzheitlich für Beides verantwortlich. Die Montagephase endet de facto mit der Unterzeichnung des Protokolls MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG.

Bei großen Anlagenprojekten kann im Sinne einer strukturierten Vorgehensweise ein Meilenstein in Form eines Montageendprotokolles, zum Beispiel innerhalb der Prozedur MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG zweckmäßig sein (s. Abschn. 4.9.2). Die qualifizierte Feststellung einer vollständigen und vorgebegerechten Montage ist auch dann zu empfehlen, wenn anschließend schwierige und/oder kostenintensive Prüfungen bzw. Teilinbetriebnahmen vorgesehen sind und eventuelle Fertigungs- bzw. Montagefehler dabei erhebliche Risiken darstellen würden.

Der Gesamtzeitraum der Inbetriebnahme wird i. d. R. in die folgenden drei Phasen (s. Abb. 1.3) unterteilt:

a) Herstellung der Betriebsbereitschaft (ggf. mit Wasserfahrt)

Die **Herstellung der Betriebsbereitschaft** umfasst einen Übergangs(Puffer-)zeitraum zwischen der Protokollierung MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG und den Beginn des Probebetriebes, in dem ganzheitlich die Voraussetzungen für das Anfahren (start-up) der Anlage zu schaffen sind.

Unter günstigen Umständen, z. B. bei vergleichsweise einfachen Anlagen mit geringem Gefahrenpotential, kann mit dem Protokoll MECHANISCHE FERTIGSTELLUNG zeitgleich bzw. zeitnah die Betriebsbereitschaft für den Probebetrieb (z. T. auch „Heiß-Inbetriebnahme“) erklärt werden. Der vorgenannte Übergangszeitraum entfällt.

In der Praxis zeigt sich jedoch, dass diese Situation bei komplexen und sicherheitsrelevanten verfahrenstechnischen Anlagen meistens nicht gegeben ist bzw. unter Umständen vor dem Anfahren der Anlage mit Produkt noch ein vertiefender Vorbereitungs- und /oder Testzeitraum zweckmäßig sein kann. Typisches Beispiel für einen komplexen Test wäre die sog. **Wasserfahrt** mit inerten Medien.

Die Betriebsbereitschaft wird in Form eines Protokolls angezeigt. Nähere Ausführungen dazu sowie über die Prozedur bis zur Protokollierung sind in Abschn. 5.2 enthalten.

b) Probetrieb

Der **Probetrieb** ist das erstmalige Betreiben einer Anlage mit Medium unter Betriebsbedingungen mit dem Ziel, die Fahrweise der Anlage so zu stabilisieren und zu optimieren, dass die vertraglich vereinbarten Leistungsparameter erreicht werden und die Nutzungsfähigkeit der Anlage im Dauerbetrieb gewährleistet ist.

Er beginnt zeitlich mit dem Anfahren und endet mit dem Übergang zum Garantiversuch. Der Probetrieb bestimmt entscheidend den Zeit- und Kostenaufwand für die Inbetriebnahme.

Kriterien für den eigentlichen Start des Probetriebes können sein:

- der Zeitpunkt, zu dem erstmals Gefahrstoffe in die Anlage gelangen,
- der Zeitpunkt, zu dem erstmalig brennbare Stoffe in die Anlage gelangen bzw. erstmals Ex-Bedingungen vorliegen,
- der Zeitpunkt, zu dem erstmalig Rohstoffe (Edukte) in die Anlage gelangen,
- der Zeitpunkt, zu dem die Anlage erstmals produziert, d. h. das Endprodukt (wenn auch nicht qualitätsgerecht) erzeugt wird. Dieser Fall bedeutet in vielen verfahrenstechnischen Anlagen, dass erstmals der Reaktor „aktiv“ ist.

Allen drei Kriterien ist gemeinsam, dass die Zeitpunkte relativ nahe beieinander liegen und die gewählte inhaltliche Unterteilung der gesamten Aufgaben in vorbereitende und ausführende Arbeiten bzgl. der Inbetriebnahme grundsätzlich zutrifft.

c) Garantiversuch

Der **Garantiversuch** (Synonym: Leistungsfahrt) ist ein vertraglich vereinbarter Betriebszeitraum während der Inbetriebnahme zur Erbringung des rechtsverbindlichen Leistungsnachweises für die Gesamtanlage.

Der Begriff Garantiversuch ist bei verfahrenstechnischen Anlagen an Stelle des Begriffs **Abnahmeversuch** üblich.

Die Modalitäten seiner Durchführung sind wegen seiner hervorragenden rechtlichen und kaufmännischen Bedeutung im Detail vertraglich zu vereinbaren (s. Abschn. 3.3.1) sowie vor Beginn in einem Programm des Garantiversuches konkret festzulegen.

Im Unterschied zum Probetrieb ist der Garantiversuch (s. auch Abschn. 5.8) relativ kurz.

Wurde während des Garantiversuches der rechtsverbindliche Leistungsnachweis erfolgreich erbracht, wird i. d. R. mit den Übergabe-/Übernahmeverhandlungen begonnen und im Erfolgsfall von beiden Vertragspartnern das Endabnahmeprotokoll unterzeichnet (s. Abschn. 5.9).

Die Anlage geht anschließend in die letztlich angestrebte und betriebswirtschaftlich notwendige Phase des bestimmungsgemäßen **Betriebes** (Synonym: Dauerbetrieb, kommerzieller Betrieb) über.

1.5 Besonderheiten der Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme ist die letzte Phase der Projektabwicklung. Die Anlage liegt vergegenständlicht vor, d. h. sie wurde sozusagen vom „Papier in Stahl und Eisen“ verwirklicht.

Mit der Inbetriebnahme kommt die „Stunde der Wahrheit“ für alle Beteiligten. Sie müssen nachweisen, dass die in den Vorphasen geleistete Arbeit solide und erfolgreich war. Man kann auch sagen, das gesamte in die Anlagenplanung, die Beschaffung und die Errichtung hineingelegte Wissen wird während der Inbetriebnahme praktisch überprüft.

Im Einzelnen ist vor Beginn der Inbetriebnahme folgende Situation typisch:

- Die Anlage ist bis auf wenige Restpunkte fertig montiert und 90-95 % des Investitionskapitals (ohne Inbetriebnahmekosten) ist verbraucht.
- Nachdem das Unternehmens- und Projektmanagement sich bei der Auftragsabwicklung vorrangig auf die qualitäts- und termingerechte Beschaffung und Montage konzentriert hat, verlagern sich nun die Aufmerksamkeit und die Anstrengungen des Managements auf die Inbetriebnahme.
- Zum Teil ist das Management sogar bestrebt, bei der Montage eingetretene Verzögerungen durch eine verkürzte Inbetriebnahme auszugleichen. Dies ist umso problematischer, da die Inbetriebnahmezeiträume ohnehin relativ kurz sind.
- Mit dem Montageende verändern sich beim Auftraggeber und beim Auftragnehmer nicht unwesentlich die Struktur sowie der Personenkreis im Projekt. Nicht selten wechselt auch die Verantwortung zu einer anderen Firma sowie Leiter vor Ort. Man sagt mitunter: *Das Inbetriebnahmeprojekt stellt ein eigenes Projekt im Projekt dar.*

Insgesamt stellt der Übergang von der Montage zur Inbetriebnahme, auch bei einer ganzheitlichen Betrachtung der Projektabwicklung, eine deutliche und wesentliche Schnittstelle dar.

- Die Anlage und teils auch das Verfahren sind neu. Ihre Auslegung und Gestaltung erfolgte eingeschränkt, zum Beispiel auf Basis theoretischer bzw. versuchstechnischer Ergebnisse. Funktionsprüfungen waren gleichfalls nur partiell möglich. Die Kopplung zwischen den Anlagenelementen sind weit gehend unerprobt.
- Trotz intensiver Vorbereitung verfügt das beteiligte Personal über keine Betriebserfahrungen mit der konkreten Anlage sowie mit den zugehörigen Systemen der Produktionsführung und -steuerung. Dies betrifft sowohl das Leit- und Bedienungspersonal als auch das Servicepersonal.
- Die mitwirkenden Personen kennen sich zum Teil erst kurze Zeit. Ausgeprägte Bindungen gibt es wenige.

Ausgehend von diesen erschwerten Bedingungen sowie den Zielen und Aufgaben der Inbetriebnahme ergeben sich die folgenden wesentlichen Besonderheiten bei der Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen:

- *Unwägbarkeit,*
- *hohes Ausfallrisiko,*
- *relative Einmaligkeit der Handlungen,*
- *hoher Organisationsaufwand,*
- *hohe Dynamik der Handlungsabläufe,*
- *Notwendigkeit von Echtzeitmaßnahmen,*
- *Fahrweise außerhalb des normalen Betriebspunktes,*
- *erhöhte Belastung des Personals.*

Die *Unwägbarkeiten*, die bei der Inbetriebnahme eine Rolle spielen, entstehen beispielsweise dadurch, dass nicht alle Teilprozesse während der Planung vollständig modelliert werden können. Einerseits wäre der Aufwand zu hoch und andererseits existieren Modelle, besonders bei neuartigen Verfahren, oftmals noch nicht.

Überdies ist jede Näherungslösung fehlerhaft, da es eben „nur“ ein Modell ist und sich in bestimmten Eigenschaften vom Original unterscheidet.

Das bewusst eingegangene Entwicklungsrisiko sowie subjektive Fehler, die trotz eines umfassenden Qualitätssicherungssystems auftreten können, bewirken gleichfalls so genannte Unwägbarkeiten.

Ein *hohes Ausfallrisiko* ergibt sich aus der Verlaufskurve der Ausfallrate für Bauteile.

Abbildung 1.4 zeigt die Ausfallrate von Bauteilen mit zufallsartigem Ausfallverhalten in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer. Man spricht von der sog. *Badewannenkurve*.

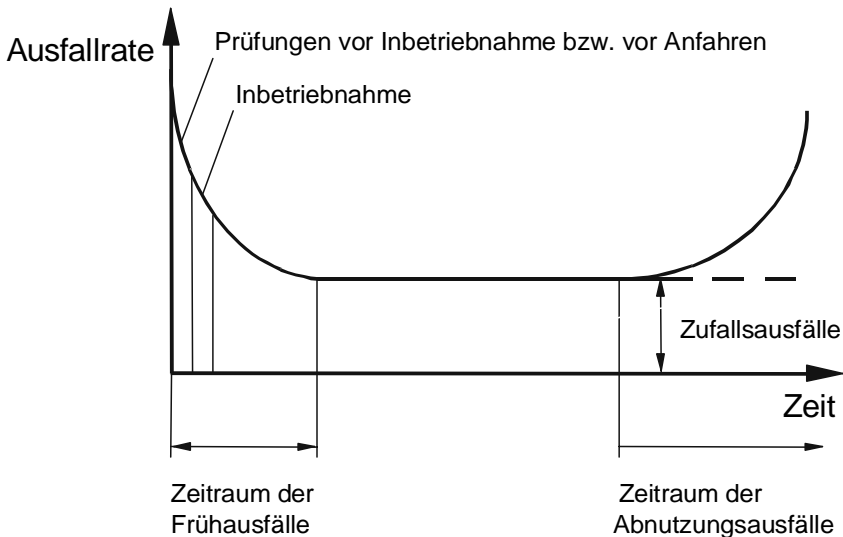


Abb. 1.4 Zeitlicher Verlauf der Ausfallrate von Bauteilen

Während die hohe Ausfallwahrscheinlichkeit zu Beginn auf die Frühausfälle zurückzuführen ist, ergibt sich der Wiederanstieg nach längerer Nutzung durch die Abnutzungsausfälle (Synonym: Verschleißausfälle).

Die Inbetriebnahme erfolgt unmittelbar nach den Sicherheits-, Funktions- und Abnahmeprüfungen, d. h. bei besonders hohen Ausfallwahrscheinlichkeiten.

Wenn man bedenkt, dass in verfahrenstechnischen Anlagen mehrere Zehntausende Bauteile eingesetzt werden und auch deren Zusammenbau, Funktion und Bedienung diesem Ausfallverhalten statistisch unterworfen sind, wäre es sehr verwunderlich, wenn keine Frühausfälle („Kinderkrankheiten“) auftreten.

Da die Anlagen großteils Einstranganlagen mit wenig Redundanz ihrer Elemente sind, führen vergleichsweise viele Einzelfälle zu Störungen in der Gesamtanlage.

Gründe für die Frühausfälle während der Inbetriebnahme können beispielsweise Material- oder Herstellungsfehler bzw. eine Fehldimensionierung von Bauteilen sein.

Gelingt es vor Beginn der Inbetriebnahme bzw. zumindest vor Beginn des Probebetriebes/Anfahrens (auch sog. „Heiß-Inbetriebnahme“), die wesentlichen Frühfehler zu erkennen und zu beseitigen, so sind i. d. R. erhebliche Kosten- und Zeiterparnisse möglich.

Die *relative Einmaligkeit der Handlungen* resultiert daher, dass nahezu jede verfahrenstechnische Anlage ein Unikat darstellt und die Erstinbetriebnahme eben nur einmal stattfindet.

Während der Berufspraxis des Verfassers zeigte sich selbst bei Erdölverarbeitungsanlagen, die in großer Stückzahl nach einem einheitlichen Typenprojekt errichtet wurden, eine erstaunlich hohe Vielfalt der Inbetriebnahmehandlungen zwischen den einzelnen Anlagen. Die Ursachen waren überwiegend die unterschiedlichen Standortbedingungen, wie die Rohstoffqualität, die Infrastruktur und Logistik, das Klima, der Erfahrungsschatz des Betreibers.

Der *hohe Organisationsaufwand* ist wegen der Komplexität des Problemlösungsprozesses a priori gegeben.

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme bestehen im Allgemeinen noch keine eingespielten organisatorischen Beziehungen zwischen den Partnern (Zulieferer, Abnehmer u. a.) bzw. es müssen Sonderlösungen (Absatz nichtqualitätsgerechter Produkte) gefunden werden.

Teils spielen auch ungeklärte Zuständigkeiten und Rechtslagen eine negative Rolle bei der Inbetriebnahme und erhöhen zusätzlich den Organisationsaufwand.

Die Inbetriebnahme ist durch eine *hohe Dynamik der Handlungsabläufe* gekennzeichnet, was zum einen durch den bereits erwähnten Termindruck als Bedingung für die Wettbewerbsfähigkeit, zum anderen aber auch durch die Eigen- dynamik der Prozesse selbst bedingt ist.

So lassen sich bestimmte Zustände nur kurzfristig halten, bzw. es erfordern anfallende Zwischenprodukte eine rasche Weiterverarbeitung in den folgenden technologischen Abschnitten, wodurch diese wiederum kurzfristig in Betrieb zu nehmen sind.

In Wechselwirkung mit der relativen Einmaligkeit der Handlungen entsteht so eine besondere Dynamik der Inbetriebnahme, bei der gleichzeitig und in komple-

xer Weise Einzelmaßnahmen vorzubereiten, durchzuführen, abzuschließen und auszuwerten sind.

Ein besonderes Merkmal der Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen ist die Tatsache, dass viele Entscheidungen und Handlungen in *Echtzeit* vorzunehmen sind.

Die Ursachen dafür sind sowohl in der Vielzahl der Unwägbarkeiten als auch in der relativen Einmaligkeit der Handlungen begründet. So kann es zu unvorhergesehenen Situationen kommen, die ein sofortiges zielgerichtetes Handeln nötig machen. Ferner erfolgt die Erstinbetriebnahme meistens von Hand, sodass der Inbetriebnehmer nicht selten prozessbedingt, in Echtzeit handeln muss.

Von der Schnelligkeit und der Richtigkeit einer Fehler- und Störungsdiagnose sowie der daraus abgeleiteten Maßnahmen und Entscheidungen kann unter Umständen nicht nur der Erfolg der Inbetriebnahme selbst, sondern auch die Verfügbarkeit der Anlage entscheidend abhängen.

Die Fähigkeit zum schnellen Erkennen, Analysieren, Bewerten, Entscheiden und Handeln kennzeichnet deshalb maßgeblich den erfahrenen und erfolgreichen Inbetriebnehmer. In diesem Punkt unterscheidet sich das Anforderungsprofil beispielsweise wesentlich gegenüber der Montage.

Durch die Notwendigkeit solcher Echtzeitaktivitäten ist es bei größeren Anlagen erforderlich, einen gewissen Teil der Aufwendungen zur Inbetriebnahme so zu planen, dass er operativ zur Verfügung steht (operatives Fachpersonal, Berater, „Was wäre wenn“-Analysen, Beratungssysteme, Situationstraining).

Während der Inbetriebnahme der Anlage werden einzelne *Anlagenteile häufig außerhalb des normalen Betriebspunktes gefahren*. Das heißt, sie werden unter Bedingungen betrieben, für die sie nicht primär ausgelegt wurden.

So kann es auf Grund der Randbedingungen der Teilanlage nötig sein, diese im Teillastbereich zu fahren, oder zum Nachweis der Sicherheit bzw. zur kurzfristigen Bereitstellung benötigter Zwischenprodukte die Teilanlage möglichst im Überlastbereich zu betreiben. Dies kann zum Teil extreme Situationen hervorrufen. Stellenweise müssen auf Grund dieser Anforderungen zusätzliche technische Elemente und Sicherheitseinrichtungen zum Einsatz gebracht werden.

Die Wissensanforderungen über das Teillastverhalten von Anlagenkomponenten unterscheidet zum Beispiel die Inbetriebnahme wesentlich vom späteren Dauerbetrieb, bei dem insbesondere die Einhaltung des Nennzustandes im Mittelpunkt steht.

Die Inbetriebnahme bringt eine *erhöhte Belastung des Personals* sowohl in physischer als auch in psychischer Hinsicht mit sich.

Das Personal des Verkäufers aber auch das Personal des Käufers steht unter erheblichem Erfolgsdruck. Auf alle Beteiligten wirkt es u. U. belastend, ständig unvorhergesehene Schwierigkeiten sowie neue Arbeiten bewältigen zu müssen. Ferner ist der Arbeitstag sehr lang.

Für das Anlagen- und Wartungspersonal des Betreibers ist die Inbetriebnahme zugleich eine Bewährungsphase und eine Lernphase, d. h. das Personal selbst ist auch einer dynamischen Belastung ausgesetzt.

Erschwerend kommt hinzu, dass manche Arbeitsteams noch in der Konstituierungsphase sind.

Zusammenfassend zu den Besonderheiten der Inbetriebnahme lässt sich sagen:

Die Inbetriebnahme ist zugleich die letzte Phase der Projektentwicklung, wie auch die erste Phase des Betriebes der Anlage. Sie ist auch die Übergangsphase vom quasi-stationären Zustand nach der MECHANISCHEN FERTIGSTELLUNG in den quasi-stationären Zustand des Dauerbetriebes. Genau darin liegt ihre Spezifik und Schwierigkeit.