

Neue Statistik Markterhebung Sonnenenergie

Dokumentation der Überarbeitung 2003

Ausgearbeitet durch:

Dr. Georges Reber
reber.physics

Im Auftrag des

Sonnenenergiefachverband Schweiz SOLAR
Bundesamtes für Energie

August 2003

Impressum

Auftraggeber:

Freddy Jauch, SOLAR Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie
Bundesamt für Energie

Auftragnehmer:

reber.physics
Rainallee 49, CH-4125 Riehen

Autoren:

Dr. Georges Reber

2003

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt der Studie ist Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Grundlagen	4
1. Zielgrößen der Markterhebung	5
2. Beschreibung der Methodik in drei Schritten Absatzzahlen – installierte Fläche – Erträge und installierte Leistungen	5
3. Durchführung der Methodik im Einzelnen	6
3.1 Modellierung der Lebenserwartung	6
3.2 Installierte Fläche, installierte Leistungen und Erträge	8
3.3 Installierte Leistungen und Erträge	10
4. Zukünftig mögliche Weiterentwicklungen der Statistik	10
4.1 Modellansatz der Normalverteilung als fundierte Basis mit Möglichkeiten der Verfeinerung	10
4.2 Präzisere Eingrenzung der Jahreserträge und der installierten Leistungen	11

Zusammenfassung

Die Kollektorstatistik basierte bis zum Jahre 2001 auf den jährlichen Absatzzahlen in sechs Erhebungskategorien (Kollektortypen). Jede Erhebungskategorie wurde für sich ausgewertet. Der Grund liegt darin, dass bei der Modellierung der Lebensdauern die spezifische Eigenart (Bauweise, Materialeigenschaften etc.) berücksichtigt werden können. Pro Erhebungskategorie wurde der Entwicklungsfortschritt dadurch berücksichtigt, dass ein für jedes Jahr der Inbetriebsetzung angepasster Lebensdauerungsverlauf angenommen werden konnte. Für die Modellierung der Lebensdauer wurde eine mehr qualitative Beschreibung – zwar mit einer mittleren Lebensdauer sowie einer Schwankungsbreite – herangezogen, der jedoch eine statistisch fundierte Basis fehlte.

In der überarbeiteten Version soll nun eine Modellierung der Lebensdauer zur Anwendung kommen, die etabliert ist zur Beschreibung von Ausfallraten von Industrieprodukten. Es handelt sich dabei nicht um eine grundsätzliche Änderung der Methodik, sondern um die Implementierung einer mit statistischen Mitteln handhabbare Form. Dabei soll auch die Struktur systematisiert sowie automatisiert werden und zwar so, dass zur raschen Auswertung sofort die Resultate des gewünschten Betrachtungsjahres dargestellt werden. Innerhalb des Rechentools selbst kommt eine Matrixdarstellung der Kollektorbestände für alle Inbetriebsetzungs- und für alle Betrachtungsjahre zur Anwendung, in die auch sämtliche Verfeinerungen wie jahresabhängige spezifische Erträge und Leistungen nahtlos eingebaut sind.

Grundlagen

- [1] Absatzzahlen Kollektoren in sechs Erhebungskategorien* seit dem Jahr 1985
- [2] Excel-Worksheet von **F. Jauch** mit Datenerhebung Kollektoren mit qualitativem Ansatz für den Verlauf der Lebensdauer
- [3] Markterhebung Sonnenenergie 2001, ausgearbeitet durch **SOLAR** im Auftrag des **BfE**

* Flach-, Röhren-, unverglaste, unverglaste selektive Kollektoren sowie Heutrocknung und PV-Module

1. Zielgrössen der Markterhebung

Ziel ist es, die **Ausbreitung** und **Marktanteil** der solaren Energiegewinnung in der Schweiz zu erfassen. Dies in jährlicher Auflösung zur Erkennung der **Entwicklungstrends**. Zudem für die verschiedenen **Kollektortypen** zur detaillierten Verfolgung der **technischen Entwicklung**.

Die Einteilung in **Kollektortypen** ergibt sich auch von der statistischen Methodik her, in der Lebensdauern modelliert werden müssen, um aus den Erhebungsdaten jährlicher **Absatzzahlen** auf die **installierte Kollektor-Fläche** schliessen zu können.

So werden seit 1985 die **Absatzzahlen** in folgenden sechs **Erhebungskategorien** erfasst:

- Flachkollektoren
- Röhrenkollektoren (bis 1990 noch zusammen mit den Flachkollektoren erfasst)
- unverglaste Kollektoren
- unverglaste selektive Kollektoren
- Heutrocknung
- Photovoltaik-Module

2. Beschreibung der Methodik in drei Schritten: Absatzzahlen – installierte Fläche – Erträge und installierte Leistungen

Die Zielgrössen der Markterhebung werden in drei methodisch trennbaren Teilschritten ermittelt:

- (1) **Erhebung der Verkaufszahlen** [m²] in sechs Erhebungskategorien und jedes Jahr der Inbetriebsetzung seit 1985. Kollektoren eines solchen Jahres werden als **Inbetriebsetzungs-Kohorte** bezeichnet, deren abnehmendes Vorhandensein als Energielieferant zeitlich verfolgt wird über deren Lebensdauer.
- (2) **Modellierung der Lebenserwartung** für alle Betrachtungsjahre ab dem Jahr der Inbetriebsetzung. Dies diversifiziert für jede Erhebungskategorie und alle Jahre der Inbetriebsetzung ab 1985, um den unterschiedlichen konstruktionsbedingten Lebensdauern gerecht zu werden. Aus den **Verkaufszahlen** und dem **Modell der Lebenserwartung** kann sofort geschlossen werden auf die im Betrachtungsjahr noch aktive Zahl der Kollektoren jeder **Kohorte**.
- (3) Die **installierte Fläche** in einem Betrachtungsjahr ergibt sich aus der Summe aller Kohortenbestände in diesem Jahr. Summiert wird über alle Jahre der Inbetriebsetzung bis zum Betrachtungsjahr.
Die **Erträge** bzw. **installierten Leistungen** ergeben sich als Produkt von **installierter Fläche** und **spezifischem Ertrag** bzw. **spezifischer Leistung**. Dies in jeder Erhebungskategorie (Kollektor-Typ) zunächst, aber auch diversifiziert nach jeder **Kohorte der Inbetriebsetzung**, um den Effekt der technischen Entwicklung voll zu erfassen.

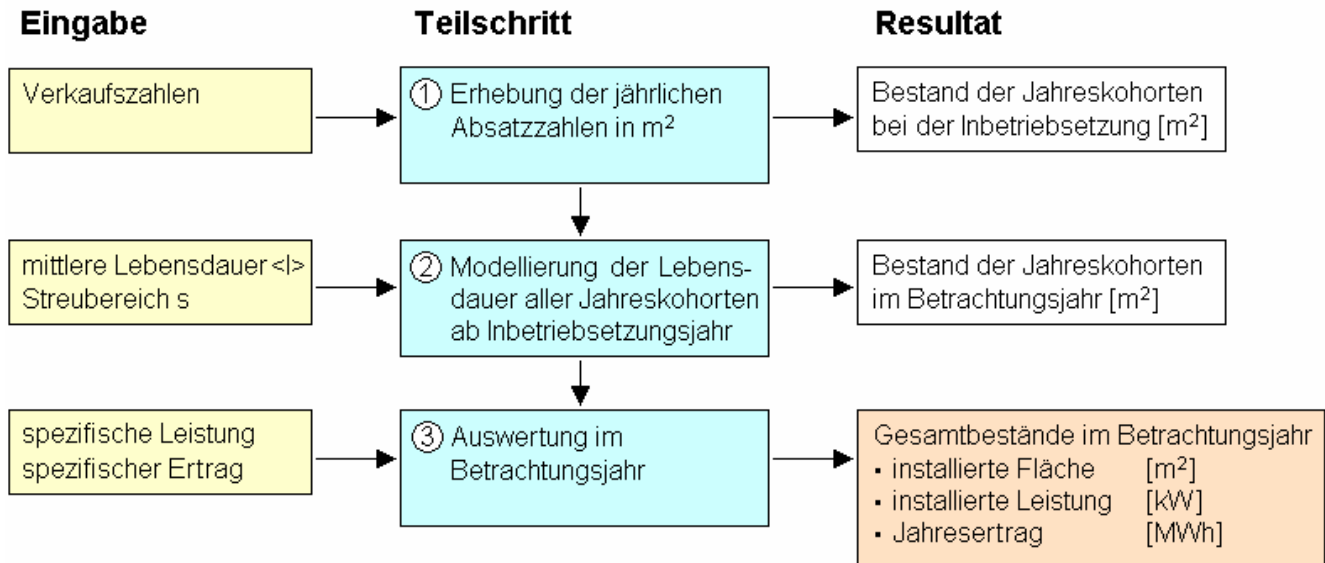


Bild 1: Die Erhebung der Bestandeszahlen erfolgt in drei methodisch trennbaren Schritten. Während die Verkaufszahlen zuverlässig Auskunft geben über die in Betrieb gesetzten Anlagen, ist der Verbleib als Produzent etwas von Modellannahmen abhängig. Auch der dritte Schritt ist Annahmen über den effektiven Wirkungsgrad unterworfen, die Entwicklungstrends werden aber nicht verfälscht dadurch.

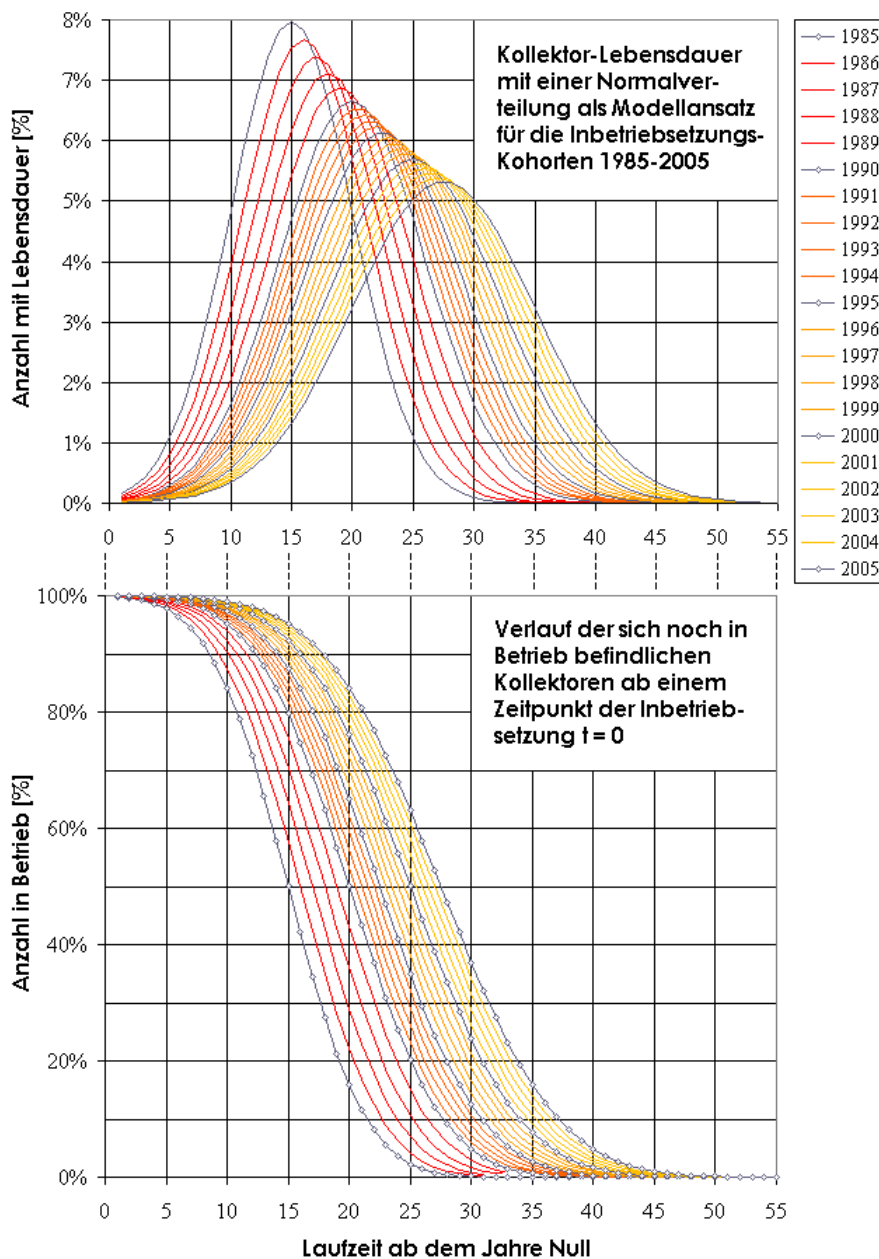
3. Durchführung der Methodik im Einzelnen

3.1 Modellierung der Lebenserwartung

Als **Modellansatz** für die Lebensdauer lag die **Normalverteilung** nahe:

- Dies zunächst unter der Annahme, dass Kollektoren jeder einzelnen Inbetriebsetzungs-Kohorte sich in dieser Weise verteilen um eine mittlere Lebensdauer <l> mit einer gegebenen Streubreite s.
- Weiter lassen sich Produkte-Entwicklungen, die sich etwa in verbesserter Lebensdauer niederschlagen, einfach innerhalb eines einzigen Modellansatzes unter geeigneter zeitlicher Anpassung der beiden Parameter <l> und s beschreiben. Das **Bild 2** zeigt die Kohorten zwischen 1985-2005 mit linearem Anstieg von Streuung und mittlerer Lebensdauer, letztere von 15 auf 27,5 Jahre.

Dies sind zunächst Begründungen methodischer Art, die gerechtfertigt sind angesichts der Tatsache, dass präzisere Erhebungsdaten zum Verlauf der Lebenserwartung fehlen. Eine genauere Begründung wird in Abschnitt 4 gegeben, in welchem auch auf mögliche Weiterentwicklungen der Statistik eingegangen wird.

**Bild 2:**

Zur Beschreibung der Lebensdauer dient die Normalverteilung, die für jede Inbetriebsetzungs-Kohorte angepasst werden kann.

Ein linearer Anstieg der Lebensdauer bewirkt zunächst ein entsprechendes Wandern des Maximums der einzelnen Kohorten in Form eines Verschiebens, das noch verstärkt wird, wenn gleichzeitig auch die Streuung anwächst.

Die in der Statistik direkt zur Anwendung kommende Grösse ist jedoch gegeben durch die aktuell sich noch im Betrieb befindlichen Kollektoren. Dazu wird die Normalverteilung integriert vom Jahre Null bis zum Betrachtungszeitpunkt, was zunächst den ausgefallenen Anteil der Kohorte angibt. Der restliche sich noch in Betrieb befindliche Anteil schliesslich (Bild links) zeigt den typischen abfallenden Verlauf mit Wendepunkt bei der mittleren Lebensdauer, wo die Ausfallrate am höchsten ist.

3.2 Installierte Fläche

Aus der Normalverteilung folgt zunächst der Verlauf des Verschwindens einer Kohorte vom Inbetriebsetzungs-Zeitpunkt her ausgehend bis zum Betrachtungszeitpunkt. Ein gestaffelter Auftrag aller Kohorten 1985-2005 über die laufenden Jahre seit Beginn der Statistik 1985 liefert die Anzahl in Betrieb in %, dies in Funktion des Betrachtungsjahres (**Bild 3**).

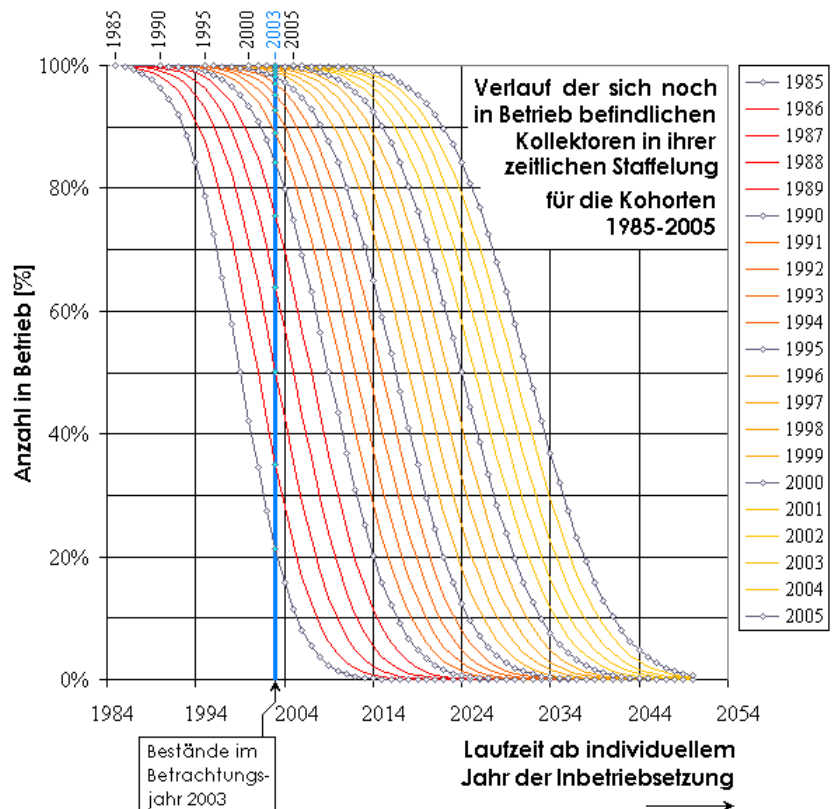
Kennt man nun die Verkaufszahl in m^2 einer Kohorte, so ergibt sich die im Betrachtungsjahr noch installierte Fläche als Produkt von Verkaufszahl und der Anzahl in Betrieb, die total installierte Fläche schliesslich durch Summierung dieser Produkte über alle Kohorten.

Bild 3:

Verlauf der sich noch in Betrieb befindlichen Kollektoren für eine einzelne Erhebungskategorie (beispielsweise Flachkollektoren) aufgetragen über die laufenden Jahre für alle Jahres-Kohorten seit dem Beginn der Statistik im Jahre 1985.

Die Lebensdauern der Kohorten nehmen mit ihren Inbetriebsetzungszeitpunkten zu, was sich hier in einem zunehmend flacheren Verlauf äussert.

Zur Ermittlung der totalen installierten Fläche dienen die Werte [%] in einem festen Betrachtungsjahr. Kennt man die Verkaufszahlen [m^2] aller Kohorten, so folgen die einzelnen Kohortenbestände und also auch ihre Summe im Betrachtungsjahr sofort.



Die Bestände bilden eine Matrix in den beiden Laufvariablen Betrachtungsjahr x und Kohorte i , welche mit dem Inbetriebsetzungszeitpunkt i korreliert ist. Durch die jährliche Staffelung dieser Zeitpunkte erhält die Matrix ihre Dreiecksgestalt. Besonders gut sichtbar wird diese Struktur innerhalb eines Tabellenkalkulations-Programmes (**Bild 4**). Ein Wechsel des Betrachtungsjahres x ist darin gleichbedeutend mit einem Wechsel zur zugehörigen Zeile x .

Diese Darstellung erlaubt es nun, die Daten des benötigten Betrachtungsjahres x durch einfache Auswahl einer Zeile aus dem fertigen Datenset heraus zu generieren. Damit können also jetzt die jährlichen Markerhebungen alle mit demselben File gemacht werden. Und nicht nur das: Der ganze Datenset in einem einzigen File schon fertig vorhanden, können sofort Darstellungen mit dem Betrachtungsjahr x als Laufvariable, also etwa Entwicklung der Marktanteile, Trends etc. erzeugt werden.

Schliesslich konnte in diese Struktur eine frei wählbare Phase eingebaut werden, mit der berücksichtigt wird, dass zwischen dem Zeitpunkt der Erhebung (typischer Stichtag 31.12.) und dem mittleren jährlichen Zeitpunkt der Inbetriebsetzung kein volles Jahr verstrichen sind. Aus demselben Grund wird im Betriebsetzungsjahr einer Kohorte typischerweise nur die Hälfte der installierten Fläche angerechnet. Betroffen sind die Diagonalelemente der Matrix.

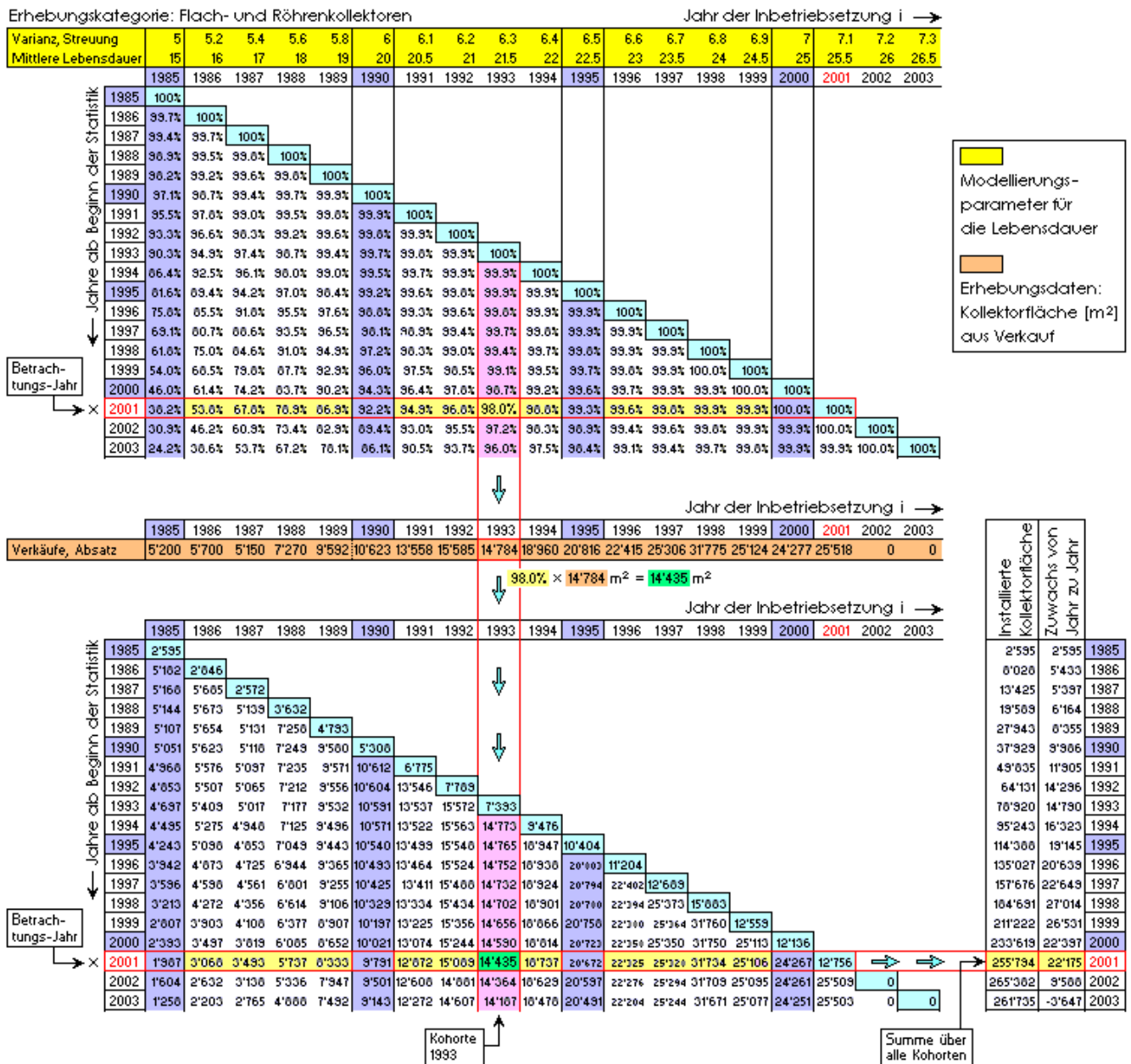


Bild 4: In einem Tabellenkalkulations-Programm wird die Matrixstruktur mit den beiden Laufvariablen Betrachtungsjahr x und Kohorte i augenfällig: Oben die Modellierung der Anzahl in Betrieb [%].

Die untere Matrix ergibt sich durch Multiplikation mit dem Zeilenvektor der Verkaufszahlen. Die Summe über alle Kohorten i in einem Betrachtungsjahr x ergibt schliesslich die zu diesem Zeitpunkt installierte Kollektorfläche.

3.3 Installierte Leistungen und Erträge

Zur Ermittlung der **installierten Leistung** [kW] bzw. der **Jahreserträge** [MWh/a] aus der installierten Fläche werden **spezifische** auf die Fläche bezogene **Leistungen** bzw. **Energien** verwendet, die typisch sind für die jeweilige Erhebungskategorie.

Weiter hängen diese spezifischen Grössen i.a. vom Inbetriebsetzungszeitpunkt ab, sodass kohortenabhängige Wirkungsgrade berücksichtigt sind. Deshalb erfolgt im Betrachtungsjahr zunächst eine Produktbildung aus installierter Fläche und spezifischer Grösse pro Kohorte, bevor über alle Kohorten summiert wird.

Ebenso könnte man die spezifischen Grössen vom Betrachtungsjahr abhängen lassen, um etwa einen effektiven klimaabhängigen Ertrag zu ermitteln. Jedoch interessiert hier im Sinne der Verfolgung von Entwicklungstrends eher der klimabereinigte Wert, weshalb mit über die Jahre gemittelten spezifischen Werten gerechnet wird.

4. Zukünftig mögliche Weiterentwicklungen der Statistik

4.1 Modellansatz der Normalverteilung als fundierte Basis mit Möglichkeiten der Verfeinerung

In Ermangelung von präzisen Erhebungsdaten zum Verlauf der Ausfallraten für Kollektoren, wurde auf die für Industrieprodukte bekannte **Normalverteilung** zurückgegriffen, da sie dort etabliert und zudem einfach handhabbar ist, die wesentlichen Effekte zu beschreiben. Für diesen Modellansatz sprechen auch folgende im einzelnen noch zu verifizierende Argumente:

- Es handelt sich um ein Industrieprodukt mit zahlreichen möglichen Ausfallgründen, worin jeder dieser Ausfallgründe für sich genommen ein geringes Gewicht besitzt. Dies ergibt sich aus der Eigenart wenig mechanisch beweglicher Teile, jedoch typischer Alterungseffekte wie thermischer Wechselbelastung, Korrosion. Der Wartung unterworfenen Teile wie Umwälzpumpen führen weiter nicht zu einem Totalausfall.
- Ein möglicher Fehler infolge einer Approximation der in der Realität gegebenenfalls asymmetrischen Verteilungen durch (symmetrische!) Normalverteilungen fällt schwächer ins Gewicht in der Superposition, die gemacht wird zur Ermittlung der letztlich interessierenden Grösse, der installierten Fläche. Diese ergibt sich aus einer Summe sämtlicher Kohorten mit jeweils einem Phasensprung von einem Jahr zwischen zwei Kohorten.

Wohl existieren vage Erfahrungswerte für eine zu erwartende Lebensdauer $\langle l \rangle$ und den Streubereich s . Letztlich sind aber **Verfeinerungen des Modellansatzes** und damit einhergehende Verringerung des Vertrauensbereiches der Statistik nur möglich durch präzisere **Erfahrungswerte** hinsichtlich Verlauf der Ausfallraten:

- Genauere Angaben zum Ausfallverhalten könnten zunächst qualitativ angegeben werden aus **Erfahrungen** von Herstellern und Installateuren, später statistisch fundiert durch repräsentative **Stichproben** von Anlagen, über deren Betrieb über längere Zeit Betriebsdaten erhoben wurden.
- Es können Erfahrungswerte von vergleichbaren Anlagenteilen anderer dezentralen Energieerzeugungsanlagen herangezogen werden und mit Erfahrungswerten von Kollektoren selber ergänzt werden.
- Möglich sind aus der Erfahrung auch gewisse dominierende Ausfallgründe zu eruieren, die zu Abweichungen von einer Normalverteilung – etwa zu einer Asymmetrie – führen.

Der Vorzug der Normalverteilung liegt auch darin, dass zwei Modellparameter $\langle l \rangle$ und s genügen. Ausgehend von diesem Modell als Grundannahme kann auch die Frage angegangen werden, wie die Kollektorentwicklung mit i.a. steigender Lebenserwartung damit erfasst werden kann. In der jetzt vorliegenden Markterhebung wurde zwischen zwei plausiblen Stützwerten der Lebensdauern die Zunahme dazwischen linear interpoliert, wobei gleichzeitig zwischen Streubreite und Lebensdauer ein konstantes Verhältnis von 1:4 festgelegt wurde.

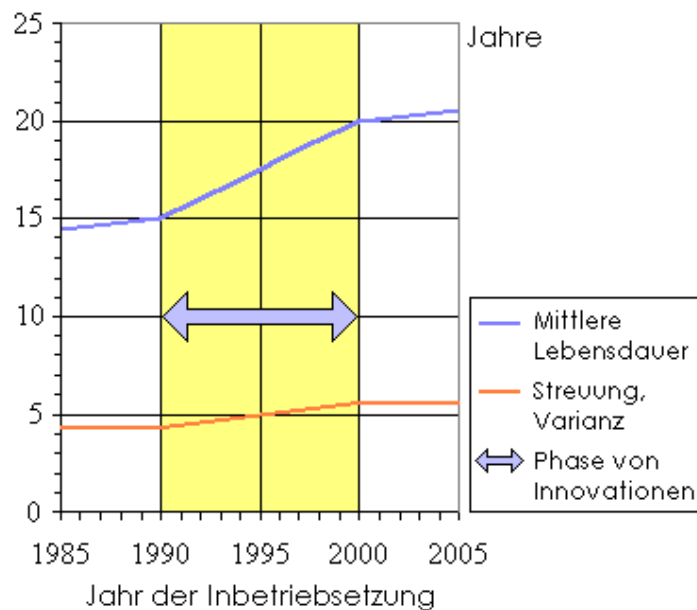


Bild 5:

Nicht nur der Verlauf der Ausfallraten für eine einzelne Inbetriebsetzungs-Kohorte über die Betrachtungsjahre (siehe Bild 2 und 3) bilden ein Thema, sondern auch die Modifikation der Verläufe abhängig vom Jahr der Inbetriebsetzung in einer Phase von Innovationen.

4.2 Präzisere Eingrenzung der Jahreserträge und der installierten Leistungen

Die Anwendung von spezifischen auf die Kollektorfläche bezogenen Leistungen und Energien (siehe Abschnitt 3.3) findet immerhin diversifiziert pro Erhebungskategorie und Inbetriebsetzungsjahr statt.

Nicht berücksichtigt sind jedoch Standort, Klima, Ausrichtung, Nutzungsart sowie die Wechselwirkung mit anderen Anlageteilen, die alle den Wirkungsgrad und den Ertrag beeinflussen.

Beim Klima ist die Verwendung eines Referenzjahres angepasst für unsere statistischen Zwecke. Jedoch könnten Standorteinflüsse unter Anwendung der Klimazonen berücksichtigt werden. Bei einer Diversifizierung der weiteren Einflussgrößen sind folgende Fragen zu stellen:

- Wo soll die Systemgrenze gezogen werden, d.h. inwieweit soll ein effektiver Anlagenwirkungsgrad überhaupt eingehen. Das jetzige Vorgehen hat die Bedeutung einer Art mittleren Effizienz, bei der etwa Änderungen in den Gepflogenheiten der Installation/Nutzung untergehen. Immerhin wurde jedoch in der Kategorie der Röhren- und Flachkollektoren bisher schon die Effizienz gemäss Anteilen Warmwasser, Heizung, MFH und EFH bestimmt.
- Wie weit lohnt sich der Aufwand für die statistische Aussage überhaupt, wenn die Erhebungsdaten über die Absatzzahlen in den Erhebungskategorien hinaus erweitert werden unter Anwendung jeweils entsprechender spezifischer Leistungen und Energien.