

## **Vortrag Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2000**

**Garching, 31. August / 1. September 2000**

### **„Praxisgerechte Auslegungsverfahren für Hochleistungs-Schneckenförderer“**

Dipl.-Ing. Johannes Fottner  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Willibald A. Günthner  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik - fml  
Technische Universität München

Der Schneckenförderer zählt zu den am längsten im Einsatz befindlichen Fördergeräten. Wurde er ursprünglich als Rohrschneckenförderer zum Heben von Wasser eingesetzt, befindet er sich heute bei den unterschiedlichsten Einsatzfällen in Anwendung.

So werden damit in kleinsten Dosierschnecken niedrigste Massenströme waagrecht zudosiert, genauso wie im anderen Fall 1200 t/h Kohle von Hochseeschiffen vertikal entladen werden können. Schneckenförderer sorgen dafür, dass aus Silos gut fließende Güter entnommen werden und unter 45° einem Sammelbehälter zugefördert werden oder ziehen aus einem vollen Bunker nur mäßig fließendes Gut ab. Es gibt Schnecken die völlig ohne Gehäuse auskommen, Schnecken die in geschlossenen Rohren laufen oder Schnecken in halbgeschlossenen Trögen.

Der Einsatzbereich dieses Förderers spannt ein multidimensionales Gebiet auf. In der einfachsten Betrachtungsweise muss man mindestens ein dreidimensionales Gebiet der Einsatzfälle betrachten. Dieses wird aufgespannt von der Schneckenneigung, die durch den jeweiligen Einsatzfall vorgegeben wird, da normalerweise ein Gut von einer Stelle A, deren Lage bekannt ist, zu einer Stelle B transportiert werden soll.

Die zweite Dimension Drehzahl des Schneckenförderers repräsentiert bereits mehrere Einflussgrößen. Zum einen bestimmt Sie zusammen mit den geometrischen Abmaßen des Gerätes den möglichen Förderstrom und den Füllungsgrad, zum anderen hat die Drehzahl einen deutlichen Einfluss auf das resultierende Förderverhalten des Förderers.

Die dritte und oftmals einflussreichste Dimension stellt die zu fördernde Gutart da. Dabei stehen hier nicht nur die rein mechanischen Kenngrößen der Gutart im Vordergrund. In mancherlei Fällen lässt sich ein Gut, das sich mechanisch sehr ähnlich zu einem gut zu fördernden Gut verhält nur schlecht oder gar nicht fördern. Der Einfluss der Gutart spielt in begrenztem Maße bereits bei der Förderbewegung eine Rolle, extrem stark geht er aber in den Leistungsbedarf ein.

Die vielschichtigen Einsatzmöglichkeiten des Schneckenförderers führen aber auch dazu, dass die Auslegung dieses scheinbar so einfachen Gebildes, bestehend nur aus stehendem Trog und rotierender Schnecke, extrem komplex werden kann. Abhängig von Drehzahl, Schneckenneigung und Gutart ergeben sich vollkommen verschiedene Bewegungszustände, die einer speziellen Berechnung bedürfen.

Besonders deutlich wird diese Problematik, wenn man den Bereich, der wirtschaftlich eigentlich nutzbaren Betriebszustände vergleicht mit denen, die über die Auslegungsnorm DIN 15262 abgedeckt ist. Lediglich ein kleiner Randbereich von ganz besonderen Förderbedingungen wird in einer allgemein nutzbaren Richtlinie betrachtet.

Um hier ein Unterscheidungsmerkmal zu prägen wurde an unserem Lehrstuhl der Begriff Hochleistungs-Schneckenförderer eingeführt. Dadurch soll der Bereich bezeichnet werden der über die Norm hinausgeht und der sich durch weit höhere Drehzahlen und Massenströme bei gleichem Bauvolumen auszeichnet. In weiten Bereichen lässt sich die Differenzierung aber auch in unterschiedlichen Grundprinzipien der Förderung erkennen. Ist in dem Bereich der DIN stets eine rein translatorische Förderbewegung die Grundlage der Berechnungen, geht im nun betrachteten Bereich der Hochleistungs-Schneckenförderer die Bewegung von reiner Translation über einen Mischzustand bis zur Schraubenlinienform. Ist das Bewegungs- und Reibungsverhalten bei reiner Translation analytisch gut zu beschreiben und damit die Leistung mittels einer konstanten Größe berechenbar, so gilt dies durch die weiten Bereiche außerhalb der DIN nicht mehr. Das Bewegungsverhalten bei reiner Translation oder reiner Schraubenlinie ist analytisch zwar auch gut beschreibbar, der Mischzustand jedoch nur noch statisch erfassbar. Wegen der starken Aufweitung des Geltungsbereiches gilt in diesem Fall auch nicht mehr, dass der fiktive Reibungsbeiwert eine Konstante ist, sondern diese Kenngröße variiert in Abhängigkeit mehrerer Einflussgrößen über dem Betriebsbereich.

Man steht also stets vor dem Problem, sich entweder auf einen recht kleinen Bereich der Norm zu beschränken, der viele Einsatzfälle unmöglich macht, oder aber wegen der nicht quantifizierbaren Einflüsse große Unsicherheiten in der Auslegung hinnehmen zu müssen.

Um die Auslegungssicherheit auch außerhalb des schmalen DIN-Bereiches verbessern zu können, forscht die Arbeitsgruppe Schüttgutförderung des Lehrstuhls fml der Technischen Universität München seit vielen Jahren auf dem Gebiet der Schneckenförderer. Während dieser Forschungsarbeit konnten auch eine Vielzahl von Einsatzfällen beschrieben und in gut arbeitenden Berechnungsmodellen nachvollzogen werden. Dabei spielte gerade in jüngerer Zeit nicht nur die analytische Beschreibung eine ausschlaggebende Rolle sondern auch die Empirik als Untersuchungsmethode gewann an Bedeutung. Dies wird gerade dadurch notwendig, dass vielerlei Einflüsse auf den Leistungsbedarf, wie zum Beispiel exzentrischer Lauf der Welle, Spalteffekte, unterschiedliche Schüttgutkonditionen analytisch nur schlecht oder gar nicht abgebildet werden können.

Seit einiger Zeit wird daher am Lehrstuhl die Forschungsarbeit auch vermehrt vom Modellmaßstab weg zu realitätsnahen Versuchsbedingungen hin verlagert. Bisher konnten durch diese Verknüpfung aus realitätsnahen Versuchen und EDV-gestützten, ständig weiterentwickelten analytischen oder numerischen Berechnungsmodellen große Erfolge bei der Vorausberechnung des Förderverhaltens unterschiedlichster Schneckenförderer-Einsatzfälle erreicht werden. Basierend auf diesen Modellen ist für jede Art von Schneckenneigung eine Vorhersage über erreichbare Massenströme möglich. Damit besteht weit über die Grenzen der bestehenden DIN hinaus ein gesichertes Verfahren zur Auslegung von Schneckenförderern. Dies ist gerade in dem vermehrt als Einsatzfeld des Schneckenförderers gesehenen Bereich der Umschlagtechnik von extremer Bedeutung, ist doch gerade in diesem Bereich eine deutlich von der DIN abweichende Auslegung aus funktionstechnischen oder auch aus Gewichtsgründen notwendig.

Mit den bisherigen Forschungsergebnissen ist es möglich die Förderbewegung bei jeder Schneckenneigung für große Drehzahlbereiche zu ermitteln. Dadurch ist auch eine sehr exakte Vorhersage über den erzielbaren Massenstrom möglich. Grundsätzliche Aussagen konnten sowohl zum Leistungsbedarf, als auch zum Einfluss von geometrischen und konstruktionsbedingten Randeffekten gemacht werden.

Unabhängig vom Anwendungsfall stellen sich bei der Auslegung von Schneckenförderern die gleichen Fragen:

- die ganz grundlegende Frage, ob sich das Gut in einem Schneckenförderer überhaupt fördern lässt.
- Bei Abzugsschnecken oder bei Schnecken ohne Zwangsbefüllung ist der nächste zu klärende Punkt wieviel nimmt der Förderer auf.
- Dazu sollte notwendigerweise auch die Frage geklärt werden, wieviel der Förderer zu fördern vermag
- Diese Aufgabenstellung führen zu einer konstruktiven Gestaltung des Förderers, die gegebenenfalls optimiert werden kann.
- Schließlich zeigt sich, dass für die jeweilige konstruktive Gestaltung auch ein optimaler oder doch zumindest optimaler Betriebsbereich gefunden werden muss.
- Und zuletzt die oftmals ausschlaggebende und wichtigste Frage, wieviel Antriebsleistung installiert werden muss.

Um diese Fragen zu klären muss man sich zuallererst darüber klar werden, welche Größen auf das Förderverhalten eines Schneckenförderers Einfluss nehmen. Es zeigt sich, dass dies in erster Art die Größen Neigungswinkel, Gutart, Drehzahl, Befüllungsart, Geometrie und Massenstrom sind.

Der eigentliche Auslegungsvorgang wird sich nun stets nach dem Schema

- Welches Gut soll in welcher Menge von wo nach wo transportiert werden?

- Wie ist der Förderer hierfür konstruktiv und hinsichtlich der Betriebsparameter zu gestalten
- Welche Antriebsleistung wird benötigt

Ausgehend von diesen Fragestellungen ist jetzt auf unterschiedliche Auslegungsverfahren zurückzugreifen.

Es kann hier wie bereits beschrieben unter mehreren Fällen unterschieden werden. Zum einen für langsam drehende, nur leicht geneigte Förderer die DIN 15262. Schnelldrehende Schnecken können mithilfe der Berechnungsvorschläge von Stahl, Greinwald, etc. in ihrer Förderbewegung über die Differentialgleichung des Kräftegleichgewichts an der Rohrwand berechnet werden.

Zur Auslegung von Bunkerabzugsschnecken gibt es keine veröffentlichten Formeln, jedoch ist der Erfahrungsstand zu diesem Thema soweit bekannt, dass das Aufnahmeverhalten vieler Geräte entsprechend dem Stand der Technik vorherberechnet werden kann.

Schließlich gilt es noch diverse Sonderfälle sowohl von Seiten des Gutes wie auch der Betriebsweise des Fördergerätes zu berücksichtigen.

Auf die genutzten Verfahren soll im folgenden noch eingehender anhand von Beispielen eingegangen werden.

Hinlänglich bekannt ist das Verfahren gemäß DIN 15262. Bei diesem wird davon ausgegangen, dass das Fördergut translatorisch vor den Wendeln hergeschoben wird. Pro Umdrehung der Schneckenwendel legt das Gut dabei genau eine Ganghöhe der Wendeln an Wegstrecke zurück. Über die durchschnittliche Füllung des Förderers, diese sollte nicht höher als 45% liegen, kann damit auf den Massenstrom und schließlich auf den Volumenstrom geschlossen werden. Dabei ist noch der Hinweis von entscheidender Bedeutung, dass der Füllungsgrad, wie er in der Norm beschrieben wird nicht das von der Welle verdrängte Volumen berücksichtigt. Dies kann in Anwendungsfällen, in denen um Zwischenlager zu vermeiden Wellen mit extrem großen Durchmessern eingesetzt werden, zu einem nicht mehr rein translatorischen Förderverhalten führen. Man sollte, um die Norm gesichert anwenden zu können stets dafür Sorge tragen, dass das Gut nicht über die Welle ansteigt und damit in den letzten zurückliegenden Schneckengang zurückfällt.

Die Leistungsberechnung erfolgt in diesem Fall über einen konstanten, gutspezifischen fiktiven Reibungsbeiwert, genannt Verschiebewiderstandsbeiwert. Mit dessen Hilfe wird eine Gesamtreibkraft berechnet, die schließlich über die bekannte Vorschubgeschwindigkeit zu einer Gesamtreibleistung führt. Zusätzlich wird im Falle einer Schneckenneigung noch eine Hubleistung auf analoge Art berechnet.

Im Förderbereich von Abzugsschnecken gilt in vielen Anwendungsfällen die gleiche Berechnungsgrundlage, da diese häufig mit recht geringer Drehzahl und wenig Neigung

betrieben werden. Schwieriger gestaltet sich hier die Frage nach dem Massenstrom, da dieser natürlich von der Gestaltung des Aufnahmebereiches abhängt, die Schnecke ist das dosierende Instrument.

In vielerlei Praxisanwendungen hat sich gezeigt, dass bei annähernd allen Gütern das Aufnahmeverhalten der Schnecke bewirkt, dass eine Füllung von 100% (unter Berücksichtigung der Schneckenwelle) quasi Blockartig, also rein translatorisch abgefördert wird. Möglich wird dies durch die erhebliche Reibkraft, die vom nachfließenden Gut auf den Schüttgutblock übertragen wird und diesen an einer Rotationsbewegung hindert. Es ist deshalb wichtig, dass beim Übergang in den Förderbereich durch eine Progressivität der Ganghöhe der Füllungsgrad wieder auf die üblichen 45% zurückgenommen wird. Andernfalls neigt das Gut dazu den Förderer systematisch zu verstopfen, was gerade beim Einsatz von Zwischenlagern zu extrem erhöhten Leistungsbedarfen oder gar zu einem Stoppen der Anlage in Folge Überlast führen kann.

Schwierig zu ermitteln ist der Anteil des Aufnahmebereiches auf den Leistungsbedarf des Förderers. Gerade bei Gütern mit hoher Reibung kann dies ein deutlicher Anteil sein. Wichtig ist aber auch, hier die Konstruktion des Aufnahmebereiches zu berücksichtigen. Besonders große Wellendurchmesser bewirken hier oftmals einen starken Mahleffekt, der auch mit hohem Leistungsbedarf verbunden ist. Hierzu muss aber gesagt werden, dass noch starker Forschungsbedarf vorherrscht, zu dessen Klärung auch unser Lehrstuhl in nächster Zeit mit einem neuen Versuchsstand beitragen möchte.

Der weitaus am häufigsten genutzte Bereich der im Einsatz befindlichen Förderschnecken ist der Bereich der Hochleistungs-Schneckenförderer, also Schneckenförderer beliebiger Neigung mit Betriebsdrehzahlen weit jenseits der in der DIN genannten Werte. Solche Geräte finden sich in der Baustoffindustrie, in der Umschlagtechnik, in der Lebensmittelindustrie, in der Landwirtschaft und in vielen weiteren Einsatzfeldern. Beispielsweise zählt dazu jeder Förderer mit mehr als 40° Steigung, da ansonsten ein starker Rückstrom von Gut im Förderer den Betrieb unwirtschaftlich oder unmöglich macht.

Die Auslegung für den Hochleistungs-Schneckenförderer orientiert sich in weiten Zügen an der Auslegung nach DIN. Allerdings ist in diesem Fall die Beschreibung der Förderbewegung abhängig von dem jeweiligen Förderfall. Liegt beim horizontalen Schneckenförderer auch bei Drehzahlen weit oberhalb der DIN-Angaben ein rein translatorischer und damit einfach zu beschreibender Fall vor, so muß ab Schneckenneigungen von 50° prinzipiell von einer Schraubenlinienförmigen Gutbewegung ausgegangen werden. Diese bedarf wie bereits erwähnt einer Beschreibung über die Differentialgleichung des Kräftegleichgewichts an der Rohrrinnenwand. Beide Verfahren sind hinlänglich bekannt und gut lösbar. Schwierigkeiten gibt es mit der analytischen Bestimmung im Bereich der Mischbewegung. Hier ist die

einzig zuverlässige Vorhersage über eine Interpolation zwischen den beiden eindeutigen Gutbewegungsverhalten möglich.

Schwierigkeiten ergeben sich aufgrund des hohen Einflusses der Gutart bei der Leistungsbestimmung. Bereits früh wurde hier versucht eine an die Vorgehensweise der DIN-Auslegung angelehnte Berechnungsmethode zu entwickeln, bei der man auf den fiktiven Reibwert Verschiebewiderstandsbeiwert zurückgreift. In einigen Bereichen haben sich damit gute Ergebnisse in der Auslegung erzielen lassen. Bei den immer häufiger genutzten Drehzahlen weit oberhalb der DIN zeigen sich aber deutliche Abweichungen der vorherberechneten Leistungsbedarfe von den tatsächlichen Werten. Hier zeigen Untersuchungen am Lehrstuhl fml dass der Verschiebewiderstandsbeiwert bei hohen Drehzahlen und unterschiedlichen Füllungsgraden nicht als Konstante angesehen werden kann, sondern als Funktion verschiedener Eingangsgrößen. Die Abbildung stellt hier einen Vergleich einer auf Massenstrom und Fördererlänge bezogenen Leistungsgröße dar. Während bei niedrigen Drehzahlen im waagerechten Fall der Leistungsbedarf mit zunehmendem Füllungsgrad unabhängig von der Drehzahl sich einer Asymptote annähert. Bei höheren Drehzahlen verschiebt sich diese Kurve Parallel zur x-Achse nach oben.

Im zweiten Bild der Fall des vertikalen Schneckenförderers, wie man sieht unterscheidet sich dieser vollkommen vom horizontalen Förderfall. Besonders interessant ist hierbei, dass die bezogenen Leistungsgröße bei sehr niedrigen Drehzahlen wieder zunimmt, was auf dann stark ansteigende Verluste hindeutet und den Zustand markiert wo die Förderung langsam zum Erliegen kommt. Ansonsten steigt der Leistungsbedarf erst nur leicht, ab etwa der 4fachen DIN-Drehzahl stark an.

Tendenziell können dergleichen Messwerte für unterschiedlichste Schüttgüter gut verglichen werden, jedoch zeigt sich, dass dieser Vergleich bestenfalls qualitativ möglich ist. Für eine quantitative Aussage zeigt sich, dass vor allen Dingen der Einfluss des Schüttgutes berücksichtigt werden muss. Leider ist gerade dieser nicht allgemein oder analytisch quantifizierbar.

Die beiden vorher gezeigten Beispiele zum bezogenen Leistungsbedarf zeigen, dass der Leistungsfaktor keineswegs nur als Konstante betrachtet werden kann, sondern als Kennlinie oder Funktion von mehreren Einflussgrößen ermittelt werden muss. Dazu gehören vor allen Dingen die Gutart, der Betriebszustand, also Drehzahl, etc., der Füllungsgrad und die Geometrie des Förderers. Unter Berücksichtigung dieser Größen kann eine Kennlinie der neuen Größe zur Leistungsbestimmung erzeugt werden. Die Entwicklung dieser Größe und auch deren empirische Bestimmung für unterschiedlichste Schüttgüter ist Inhalt eines gerade angelaufenen AiF-Forschungsvorhaben, das an unserem Lehrstuhl im Augenblick mit starker Industriebeteiligung bearbeitet wird.

Zusammengefasst lässt sich zeigen, dass für eine Vielzahl von Anwendungsfällen von Schneckenförderern, gerade im Bereich hoher Drehzahlen oder steiler Neigungswinkel keine allgemeingültigen Auslegungsgrundlagen vorhanden sind. Grundlagen für die

Ermittlung des Förderstromes und der Förderbewegung können jedoch bei geeigneter Kombination mit einer Schüttgutbeschreibenden Kenngröße eine praxistaugliche Auslegung ermöglichen. Gerade im Bereich der Gutaufnahme besteht in jedem Fall immer noch Forschungsbedarf, wie bereits erwähnt soll auch hierzu ein Versuchsstand an unserem Lehrstuhl aufgebaut werden.

Fachtagung

Schüttgutfördertechnik 2000

# Praxisgerechte Auslegungsverfahren für Hochleistungs-Schneckenförderer

Dipl.-Ing. Johannes Fottner

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Willibald A. Günthner

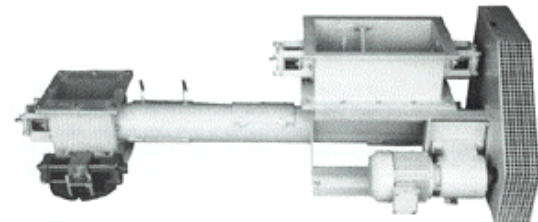
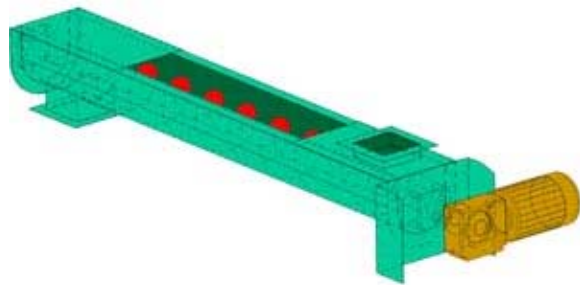
Lehrstuhl fml, Technische Universität München

**Garching, 31. August 2000**

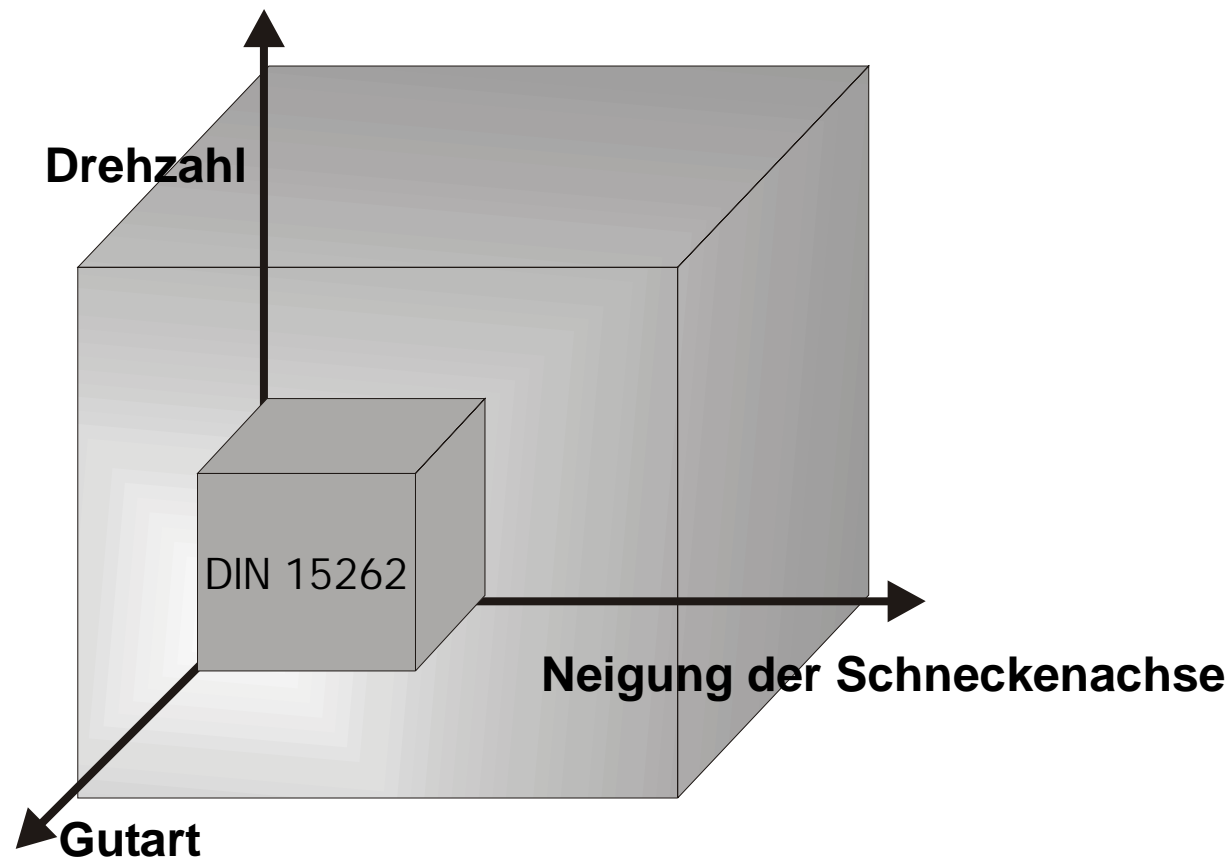




# Einsatzgebiete von Schneckenförderern



## Veränderliche Eingangsgrößen im Betriebsbereich von Schneckenförderern



## Unterscheidung von Schneckenförderern

Langsam drehender  
Schneckenförderer  
( $n < 150$ ,  $\beta < 20^\circ$ )

Förderbewegung bei  
horiz. und leicht geneigt  
=> reine Translation

Leistungsbedarf durch  
konstanten  
Verschiebewiderstands-  
beiwert

Schnell drehender  
Schneckenförderer  
(= Hochleistungs-Schneckenförderer)

Förderbewegung  
abhängig von Drehzahl,  
Gutart, Neigung,  
Geometrie

Hauptsächlicher Einfluss  
auf den Leistungsbedarf  
durch Gutart, nicht  
konstant

## Auslegung von Schneckenförderern



Einschränkung auf kleine  
Randbereiche des  
nutzbaren Betriebsbereiches



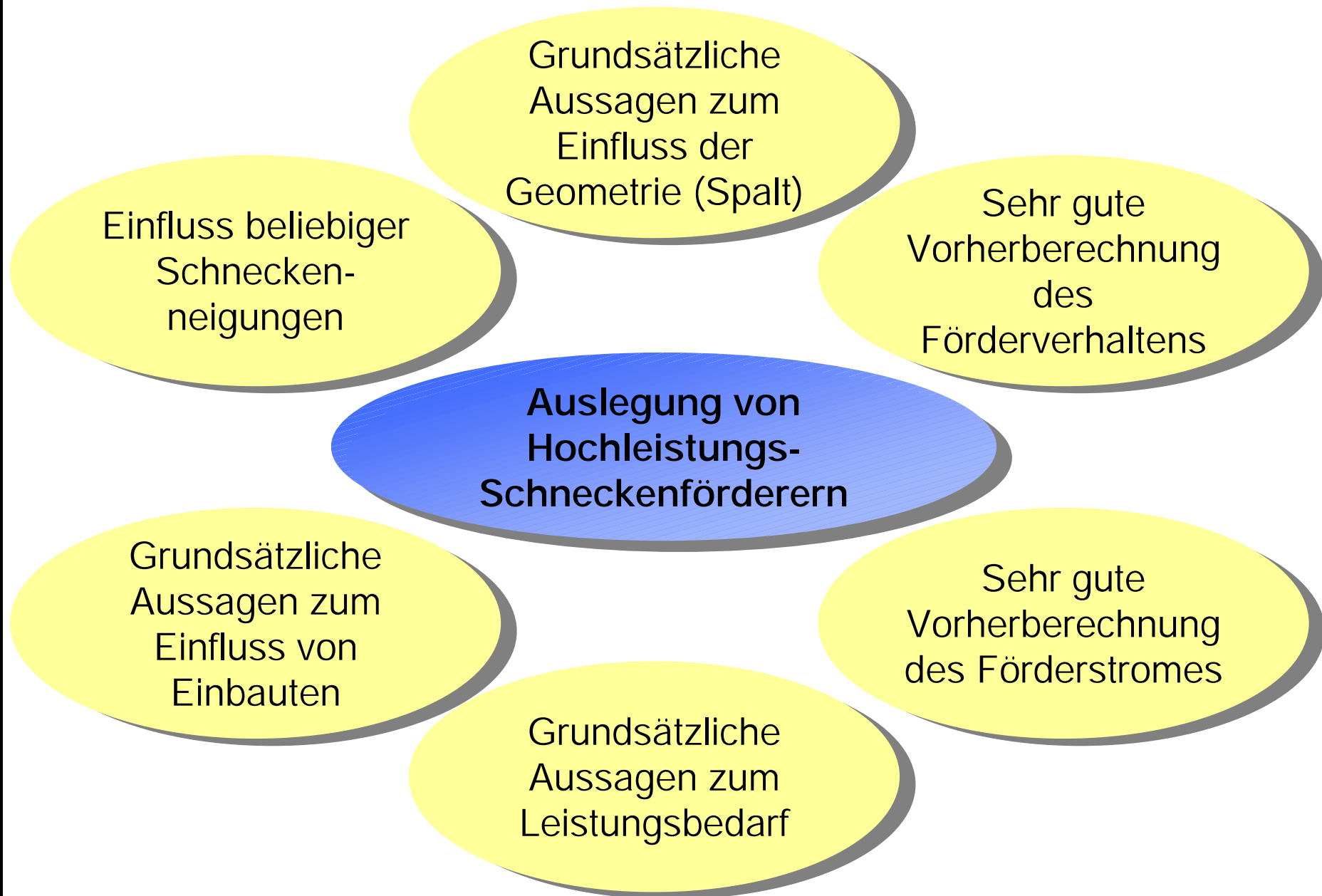
Sehr unterschiedliche Einsatzfälle  
und genutzte Betriebsbereiche



Keine allgemeine Quantifizierung  
der Schüttguteinflüsse



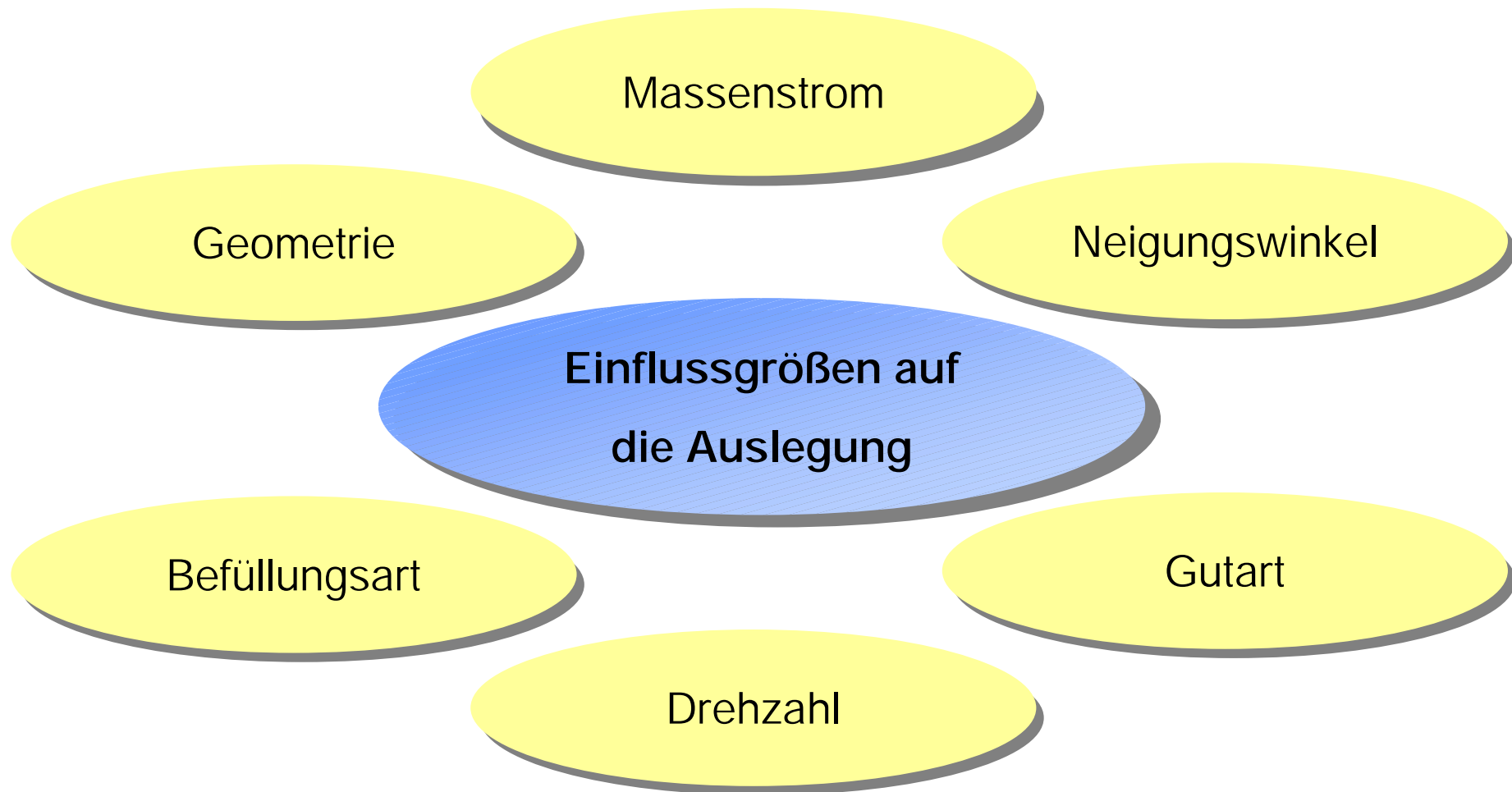
Unsichere Auslegung bei  
vielen Anwendungsfällen



► Fragestellungen zur Auslegung von Schneckenförderern



## ► Einflussgrößen auf das Förderverhalten



## Grundsätzliche Vorgehensweise



Welches Gut soll in welcher Menge von wo nach wo transportiert werden?



Wie ist der Förderer hierfür konstruktiv und hinsichtlich der Betriebsparameter zu gestalten?



Welche Antriebsleistung wird benötigt?



## Auslegungsberechnung für unterschiedliche Einsatzfälle

- Auslegung von nur leicht geneigten Schnecken gemäß der DIN 15262:  
Massenstrom und Leistung leicht berechenbar
- Auslegung von beliebig geneigten Schnecken mit vorgegebenem Massenstrom:  
Förderbewegung gut, Leistung schlecht berechenbar
- Abzugsschnecken:  
Massenstrom und Leistungsbedarf (vor allem des Aufnahmebereiches) schwierig zu berechnen
- Schnecken für nicht statischen Betrieb, schwierig zu fördernde Güter oder mit besonderen geometrischen Vorgaben: kein allgemeines Auslegungsvorgehen

## Vorgehen bei DIN-Schnecken



Festlegen der Betriebsparameter  
und der konstruktiven Daten



Berechnung des Förder-  
zustandes (Füllungsgrad etc.)  
auf Basis des Massenstroms  
und der translatorischen  
Gutbewegung



Berechnung der Antriebsleistung  
durch konstante fiktive  
Gesamtreibungsbeiwerte



## Vorgehen bei Abzugsschnecken (Silo / Bunker)



Festlegen der Betriebsparameter und der konstruktiven Daten über das Aufnahmeverhalten



Berechnung des Förderzustandes auf Basis konstr. Zusammen-spieles von Aufnahme- und Förderbereich unter Berücksichtigung der Schneckenneigung



Berechnung der Antriebsleistung unter Berücksichtigung des Aufnahmebereiches



## Vorgehen bei Hochleistungs-Schneckenförderer



Festlegen der Betriebsparameter und der konstruktiven Daten



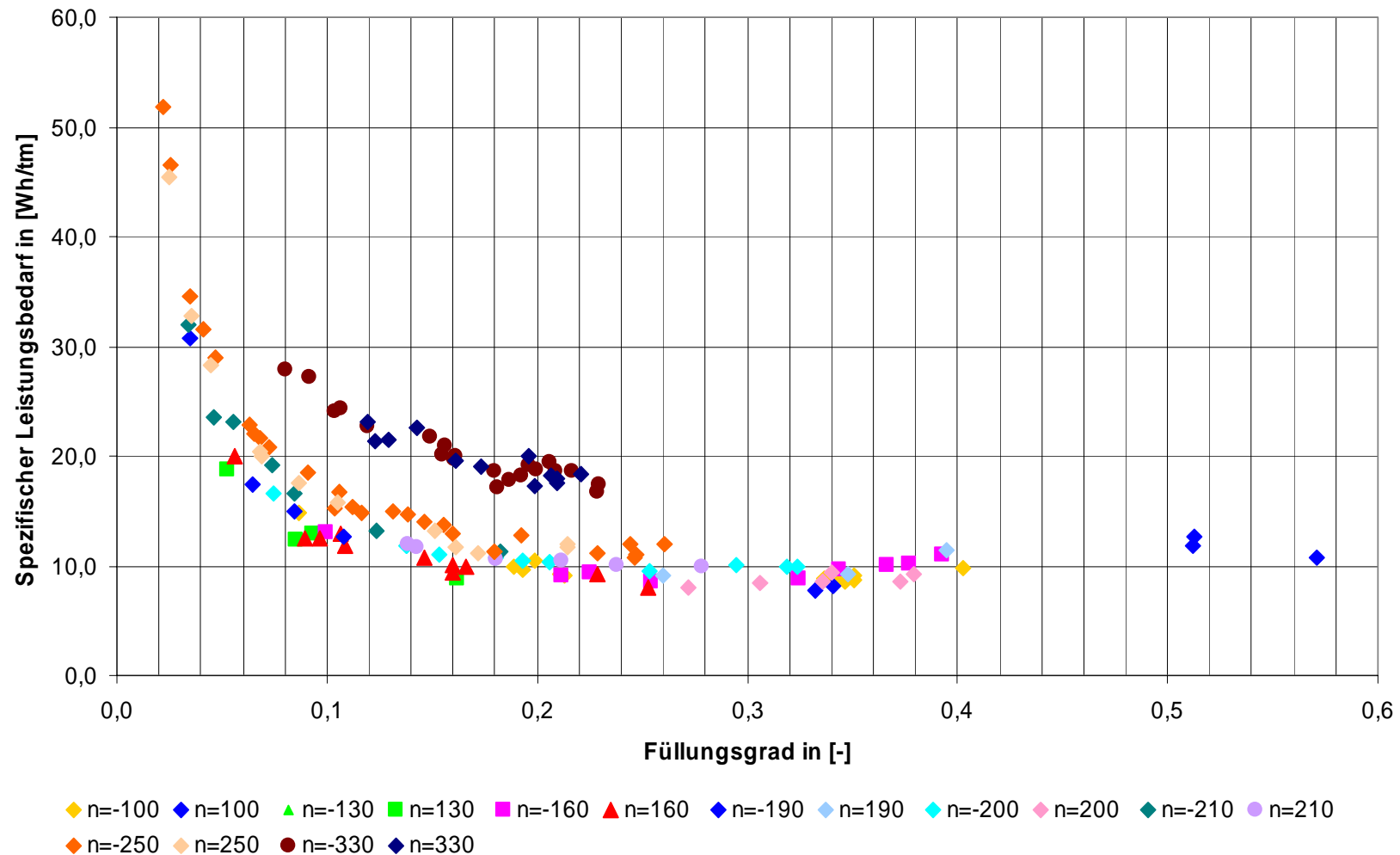
Berechnung des Förderzustandes (Füllungsgrad etc.) auf Basis des differentiellen Gleichgewichtszustandes des Gutes



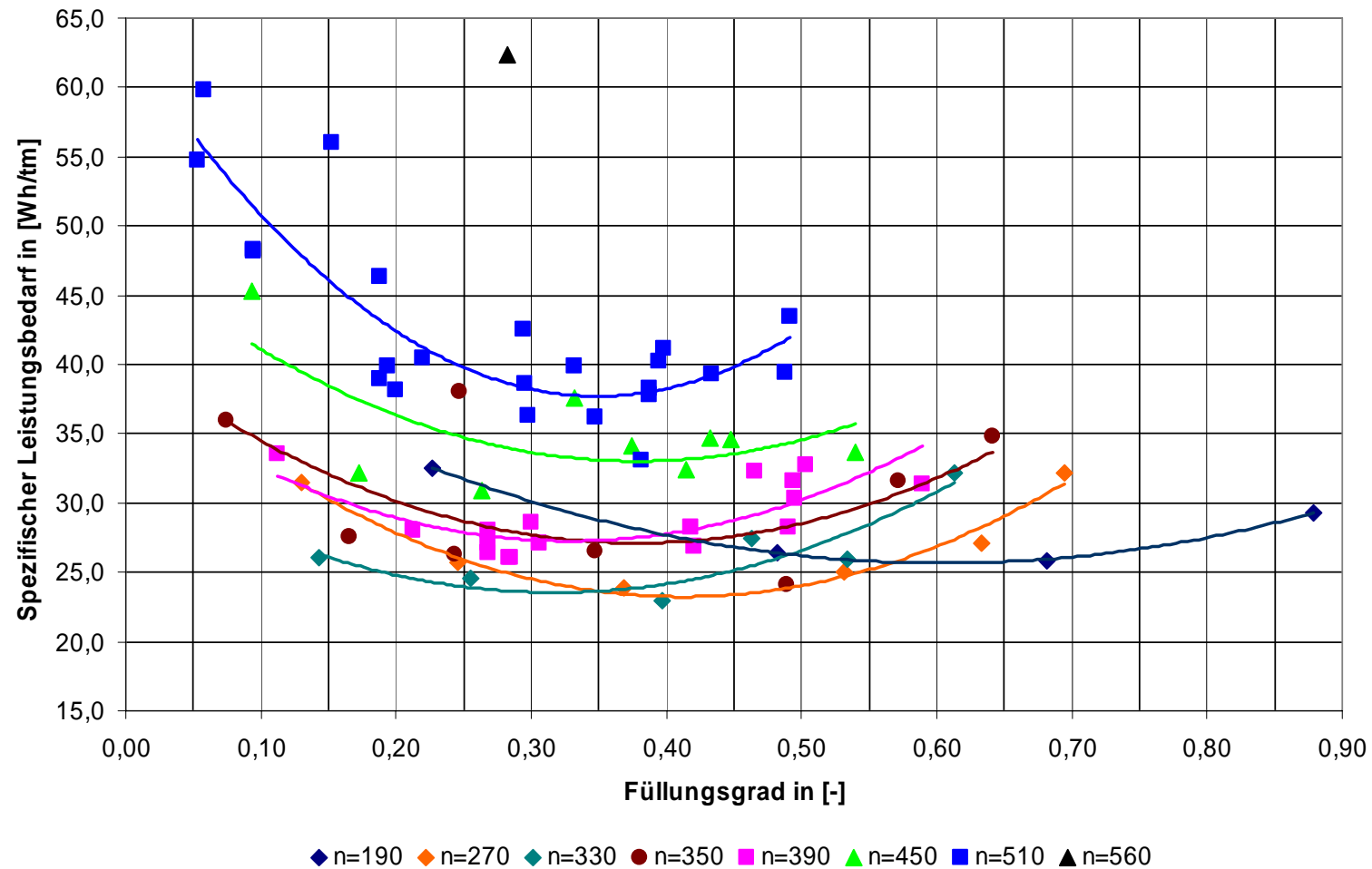
Berechnung der Antriebsleistung durch nicht-konstante fiktive Gesamtreibungsbeiwerte



## Bezogenes Leistungsverhalten horizontale Förderung



## Bezogenes Leistungsverhalten vertikale Förderung



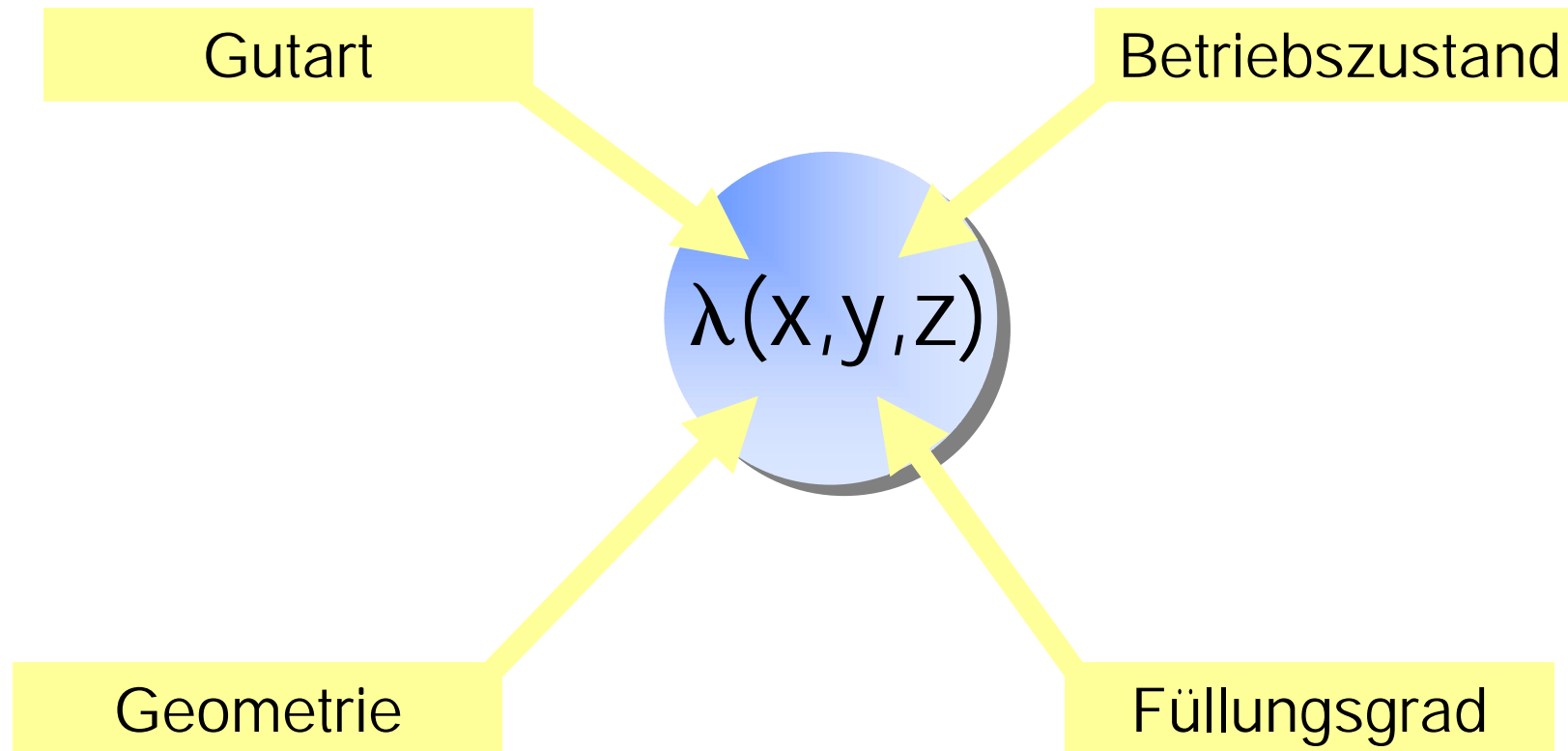
## Gemeinsame Problematik



Einfluss des Gutes gerade auf den Leistungsbedarf nicht allgemein oder analytisch quantifizierbar

- Entwicklung einer Kenngröße in Annäherung an den Verschiebewiderstandsbeiwert  $\lambda$  der Normauslegung mit  $\lambda_{\text{HSF}}$  nicht konstant
- Empirisches Ermitteln von  $\lambda_{\text{HSF}} = f(n, l_m, \text{Gutart}, \dots)$  in Versuchsreihen

## Notwendige Kenngröße





## Praxisgerechte Auslegung

- Förderbewegung in weiten Bereichen von Drehzahl und Füllungsgrad mit hoher Genauigkeit vorausberechenbar
  - Einflüsse durch Einbauten und Geometrie (Schneckenneigung) durch empirisch gewonnene Erkenntnisse gut bekannt
    - Abzugsverhalten und Übergang Abzugs- / Förderbereich bekannt
      - Leistungsbestimmung mit Ausnahme von Randbereichen wegen des hohen Schüttguteinflusses nur schwer analytisch quantifizierbar