

EFG4

Kostentreiberanalyse und Effizienzvergleich der deutschen Fernleitungsnetzbetreiber zur vierten Regulierungsperiode

Schlussbericht

Dr. Urs Trinkner, Swiss Economics

Prof. Dr. Andreas Haller, Swiss Economics

Luca Apreda, Swiss Economics

Prof. Dr. Per Agrell, SUMICSID

Prof. Dr. Peter Vossiek, Hochschule Osnabrück

Dr. Lukas Löhr, IAEW der RWTH Aachen

Raphael Houben, IAEW der RWTH Aachen

Gutachten im Auftrag der Bundesnetzagentur

21.07.2023

ISSN 2235-1868



Metainformationen

Titel: Kostentreiberanalyse und Effizienzvergleich der deutschen Fernleitungsnetzbetreiber zur vierten Regulierungsperiode

Referenz: EFG4

Status: Schlussbericht

Version: V1

Datum: 21.07.2023

Autoren: Urs Trinkner, Lukas Löhr, Peter Vossiek, Luca Apreda, Raphael Houben, Per Agrell

Kontakt: Urs Trinkner, +41 79 830 14 32, urs.trinkner@swiss-economics.ch

Keywords: Effizienzvergleich, Fernleitungsnetzbetreiber, Gas

Projektbegleitung Auftraggeber

Tim Harlinghausen und Dr. Raimund Scheffler,
Referat Anreizregulierung und Vergleichsverfahren

Disclaimer

Dieses Gutachten wurde von Swiss Economics SE AG und SUMICSID unter Beizug des IAEW der RWTH Aachen und der Hochschule Osnabrück im Auftrag der Bundesnetzagentur erstellt. Obwohl alle Autoren sich bemühen, nur wahre und korrekte Informationen zu verwenden und eigene Aussagen sorgfältig zu tätigen, kann hinsichtlich der Richtigkeit, Aktualität, Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Vollständigkeit und Verwendbarkeit der nachfolgenden Informationen keine Gewähr oder Haftung übernommen werden. Swiss Economics und SUMICSID mit dem IAEW haften in keinem Fall für Schäden oder Folgeschäden jeglicher Art, die in irgendeiner Weise im Zusammenhang den nachfolgend bereitgestellten Informationen stehen. Die nachfolgenden Informationen stellen keine rechtliche Beratung dar.

© Swiss Economics SE AG
Ottikerstrasse 7, 8006 Zürich
www.swiss-economics.ch

Zusammenfassung

Mit Blick auf die Bestimmung der individuellen Effizienzwerte der deutschen Fernleitungsnetzbetreiber (FNB) im Rahmen der vierten Regulierungsperiode wurde Swiss Economics zusammen mit SUMICSID unter Beizug des IAEW der RWTH Aachen und der Hochschule Osnabrück von der Bundesnetzagentur (BNetzA) damit beauftragt, bei der Festlegung der Datenerhebung mitzuhelfen, eine Plausibilisierung der bei den Fernleitungsnetzbetreibern abgefragten Struktur- und Kostendaten vorzunehmen, die Kostentreiber der FNB ingenieurwissenschaftlich und statistisch zu analysieren und den Effizienzvergleich gemäß der Anreizregulierungsverordnung (ARegV) durchzuführen.

Datenerhebung

Erstmalig umfassten die gutachterlichen Leistungen Beratungen der BNetzA hinsichtlich der Festlegung der Datenerhebung. Ausgehend von einer Analyse des Erhebungsbogens der dritten Regulierungsperiode (RP3) und den Entwicklungen seither, wurde der Erhebungsbogen punktuell verbessert, indem in Absprache mit den Netzbetreibern unnötige Angaben weggelassen (z. B. Druckangaben), gleichzeitig aber auch neue Informationen und Übertragungsmöglichkeiten (z. B. geocodierte Netzkarten) eingeführt wurden.

Datenvalidierung

Im Rahmen einer umfangreichen Datenvalidierung, bei der u. a. die einzelnen Netze graphisch dargestellt und auf Vollständigkeit geprüft wurden, konnte die Datenqualität im Verlauf des Projekts ausgehend von einer bereits guten Basis weiter erhöht werden. Die verwendeten Daten, die in den Effizienzvergleich eingehen, erscheinen formal korrekt, plausibel und qualitativ hochwertig.

Parameterbildung und ingenieurwissenschaftliche Kostentreiberanalyse

Insgesamt wurden 44 Vergleichsparameter gebildet, gruppiert, konzeptionell eingeordnet, qualitativ beurteilt und quantitativ im Rahmen einer Referenznetzanalyse auf die Wirkung von verschiedenen Fremdnutzungskonstellationen untersucht. Ergebnis dieser Überlegungen sind eine Einordnung der Vergleichsparameter hinsichtlich ihrer Eignung als Kostentreiber aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive sowie sogenannte Technical Blocks, welche sinnvolle Kombinationen von Parametern andeuten.

Um den teils größeren Schiefständen von Netzbetreibern und Teilnetzen zwischen Ein- und Ausspeisung zu begegnen, wurde das in der RP3 eingeführte Transportwurzelmoment zur Variante TWM2 weiterentwickelt, welche bei einer Unausgeglichenheit nicht mehr pauschal die tiefere auf die höhere Seite hochskaliert, sondern in iterativer Weise alle Netzanschlusspunkte mindestens einmal auf ihrem Maximum bewertet, sofern dies technisch möglich ist. Neu gebildet wurde ebenfalls der Parameter „vertikale Fläche“, welche die Fläche um verteilende Ausspeisepunkte bildet, sowie eine Unterscheidung der Mantelfläche in eine input- und outputorientierte Version mit Blick auf die Behandlung von Fremdnutzungsanteilen.

Effizienzvergleich

Beim Effizienzvergleich wird ermittelt, wie effizient ein einzelner FNB seine Versorgungsaufgabe im Vergleich zu den übrigen FNB erfüllt.

Nach Festlegung der hierbei eingesetzten Methoden und Gütekriterien wurde in einem ersten Schritt der Erklärungsgehalt der einzelnen Vergleichsparameter hinsichtlich der Aufwandsparameter (cTotexS, cTotexN) untersucht, Korrelationsanalysen durchgeführt sowie die optimale Modellgröße diskutiert.

In einem zweiten Schritt wurden Grundmodelle ausgehend von **vier Verfahren** ausgewählt, die als Kostenfunktion grundsätzlich gute Eigenschaften aufweisen. Zunächst wurde das Modell der dritten Regulierungsperiode sowie ausgewählte Variationen davon auf die Eignung mit den neuen Daten untersucht (RP3-Verfahren). Weiter wurden beim Bottom-up-Verfahren Modelle rein bezogen auf den statistischen Erklärungsgehalt mittels LASSO-Methode (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) entwickelt. Ebenfalls wurden, gestützt auf die Ergebnisse der ingenieurwissenschaftlichen Kostentreiberanalyse, Modelle vom Rohrvolumen, der inputorientierten Rohrmantelfläche und dem Transportwurzelmoment 1 und 2 her gebildet (Top-down-Verfahren). Neu wurden überdies alle Kombinationen der ingenieurwissenschaftlich abgeleiteten „Technical Blocks“ geprüft.

Die so resultierenden Grundmodelle wurden entlang der Parameter Rohrvolumen, Mantelfläche und Transportwurzelmoment in drei „**Streams**“ gebündelt und anhand einer Permutation aller Modelle weiterentwickelt, bei der jeweils deren Eigenschaften als Effizienzgrenze und Kostenfunktion festgehalten wurden. Zusätzlich wurden in einem vierten Stream auch alle übrigen Modelle ausgewertet. Im Rahmen der finalen Modellauswahl konnten schließlich fünf Modelle dem alten Modell der RP3 mit Rohrvolumen, Fläche, Ein- und Ausspeisepunkte und Verdichterleistung gegenübergestellt werden, davon zwei Weiterentwicklungen des Modells der RP3, zwei Modelle mit Mantelfläche und eines mit dem stärker exogenen TWM2. In Abwägung aller konzeptionellen, regulatorischen und statistischen Kriterien inklusive Second-Stage-Analyse wurde das Modell „**RP3+ Exit**“ als Effizienzvergleichsmodell der RP4 gewählt und einer abschließenden Validierung unterzogen. Das Modell lehnt sich an dasjenige der RP3 an, verwendet aber **ausschließlich die Ausspeisepunkte** und stützt sich auf die **teilnetzstarke Polygonfläche** ab. Beide Anpassungen sind insbesondere auch aus konzeptioneller Sicht zu begrüßen.

Gestützt auf dieses Modell beträgt die Effizienz der Netzbetreiber im Basisjahr im Durchschnitt **sehr gute 97.9 Prozent**. Der minimale Effizienzwert liegt bei **83.4 Prozent**. Von 16 Netzbetreibern werden zwölf als effizient eingestuft und erhalten einen Effizienzwert von 100 Prozent. Die Ergebnisse liegen im Rahmen der dritten Regulierungsperiode.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung	14
1.1 Ausgangslage	14
1.2 Auftrag / Zielsetzung	14
1.3 Vorgehen	14
1.3.1 Grundlegender Ansatz	14
1.3.2 Meilensteine und Anhörungen	17
1.3.3 Spezifische Berücksichtigung der Anliegen der Netzbetreiber	19
1.4 Struktur des Berichts	24
2 Grundlagen	25
2.1 Rechtliche Vorgaben	25
2.1.1 Effizienzvergleichsmethoden und Ausreißeranalysen	26
2.1.2 Aufwandsparemeter	27
2.1.3 Vergleichsparemeter	28
2.1.4 Bestabgerechnete Effizienzwerte	29
2.2 Ökonomische Grundlagen der Effizienzmessung	29
2.3 Zusammenfassung und Terminologie	31
3 Ingenieurwissenschaftliche Kostentreiberanalyse (KTA Ing)	34
3.1 Herleitung der zu untersuchenden Parameter	35
3.1.1 Ergebnisse früherer Regulierungsperioden	35
3.1.2 Einordnung der gaswirtschaftliche Entwicklungen seit der RP3	38
3.1.3 Neue Parameterbildungen	41
3.1.4 Gestrichene Parameter in RP4	43
3.1.5 Parametervorschläge der Netzbetreiber und der Branche	43
3.1.6 Zwischenergebnis: In der aktuellen KTA zu untersuchende Parameter	48
3.2 Konzeptionelle Einordnung der Parameter	50
3.2.1 Gruppenbildung	50
3.2.2 Zuordnung zu Versorgungsdimensionen	50
3.2.3 Zuordnung nach Kontrollierbarkeit	53
3.2.4 Zusammenfassung	55
3.3 Quantitative Analyse: Punktuelle Erweiterung der Referenznetzanalyse der RP3	56
3.3.1 Vorgehen	56
3.3.2 Ergebnisse	59

3.3.3	Folgerungen	65
3.4	Qualitative Diskussion der Parameter aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht	67
3.4.1	Rohrgeometrie	68
3.4.2	Jahresarbeit	70
3.4.3	Last: (zeitgleiche) Netzlast und (zeitungleiche) Jahreshöchstlast	71
3.4.4	Anschlüsse: Anzahl Ein- und Ausspeisepunkte	72
3.4.5	Fläche	73
3.4.6	Verdichter: Anzahl, Leistung, Treibenergie	75
3.4.7	Regler: Anzahl und Nenndurchfluss	76
3.4.8	Transportmoment	76
3.4.9	Transportwurzelmoment	77
3.4.10	Netzcharakteristiken: Verzweigungen und Maschen	79
3.4.11	Gebietseigenschaften	80
3.5	Folgerungen für den Effizienzvergleich	82
3.5.1	Eignung der Parameter fürs das Top-down-Verfahren	82
3.5.2	Bildung der Bausteine für das Technical-Blocks-Verfahren	84
4	Datenvalidierung	89
4.1	Datenmanagement und analysierte Dateien	90
4.1.1	Datenlieferungen der BNetzA und Lieferungen an die Netzbetreiber	90
4.1.2	Struktur der Datenabfrage	90
4.1.3	Datenmanagement	91
4.1.4	Im Rahmen der Validierung analysierte Dateien	92
4.2	Analyse der einzelnen Datenlieferungen je Netzbetreiber	93
4.3	Analyse der Netzkarten	94
4.4	Plausibilität gemeinsamer Datensatz	96
4.4.1	Parametervergleich RP3/RP4	97
4.4.2	Prüfung der Aufwandsparameter	98
4.4.3	Prüfung der Vergleichsparameter	99
4.4.4	Verhältnisse zwischen Vergleichs- und Aufwandsparametern	102
4.5	Prüfung der finalen Parameter	106
4.6	Fazit der Datenvalidierung und deskriptive Statistiken der Parameter	106
5	Effizienzvergleich	108
5.1	Vorgehen	108
5.2	Methoden und Kriterien	108
5.3	Ökonomische Kostentreiberanalyse (KTA oec)	110

5.3.1 Kostentreibergruppen	111
5.3.2 Korrelationsanalyse	112
5.3.3 Untersuchungen zur Modellgröße	114
5.3.4 Auffälligkeitsanalysen	117
5.3.5 Zusammenfassung	117
5.4 Modellspezifikation: Herleitung von Grundmodellen	117
5.4.1 Methodisches	118
5.4.2 Analyse und Resultate Modell RP3	122
5.4.3 Resultate Bottom-up-Verfahren	123
5.4.4 Resultate Top-down-Verfahren	123
5.4.5 Resultate Technical-Blocks-Verfahren	124
5.5 Ermittlung der Effizienzgrenze	126
5.5.1 Methodisches	126
5.5.2 Weiterentwicklung Grundmodelle	133
5.5.3 Modellwahl	140
5.5.4 Detailspezifikation	142
5.5.5 Bestabgerechnete Effizienzwerte	144
5.5.6 Validierung	146
6 Referenzen	150
A Anhang Parameterdefinitionen und -berechnungen	152
A.1 Vorbereitungen im Datensatz	152
A.1.1 Aufbereitung der GIS-Daten	152
A.1.2 Behandlung von Fremdnutzungsanteilen, Biogas und Investitionsmaßnahmen, Komplementierenden Punkten, Marktraumumstellung und Gaspool	153
A.1.3 Datengrundlage für Arbeit- und Lastangaben	156
A.2 Parameterdefinitionen	159
A.2.1 Rohrgeometrie: Rohrleitungslängen, -volumen und -mantelfläche	159
A.2.2 Jahresarbeit (Qjahr inkl. Unterscheidung vertikal/horizontal)	160
A.2.3 Jahreshöchstlast (Qmax inkl. Unterscheidung vertikal/horizontal, Qsim) ...	160
A.2.4 Anschlüsse: Ein- und Ausspeisepunkte	162
A.2.5 Verdichter und Druckregler	162
A.2.6 Fläche	163
A.2.7 Transportmoment	164
A.2.8 Transportwurzelmoment	168
A.2.9 Netzcharakteristiken: Verzweigungen und Maschen	169

A.2.10	Gebietseigenschaften.....	170
A.3	Dokumentation der Parameter: Übersichten für die Netzbetreiber	172
B	Anhang Parameterliste mit Gruppenzugehörigkeit	173
C	Anhang TWM2 – Weiterentwickeltes Transportwurzelmoment.....	174
D	Anhang graphische Abbildung des Leitungsnetzes.....	178
E	Anhang Parameter und Effizienzwerte finales Modell	179

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ausgewählte Meilensteine im Projektverlauf.....	17
Tabelle 2:	Terminologie der Parameter und Daten.....	33
Tabelle 3:	Bewertung der Kostentreiber in der KTA Ing der RP2	36
Tabelle 4:	In der RP2 letztlich gewählte Parameter	36
Tabelle 5:	Bewertung der Kostentreiber in der KTA Ing der RP3	37
Tabelle 6:	Zu untersuchende Parameter.....	48
Tabelle 7:	Zuordnung der Parametergruppen zu den Versorgungsdimensionen.....	52
Tabelle 8:	Einordnung der Parameter nach Kontrollierbarkeit	54
Tabelle 9:	Einordnung nach Versorgungsdimension und Kontrollierbarkeit	55
Tabelle 10:	Auswirkung auf Parameter und Unit Costs	67
Tabelle 11:	Priorisierung der Parameter gestützt auf die KTA Ing	83
Tabelle 12:	Übersicht über gebildete Technical Blocks je Versorgungsdimension	86
Tabelle 13:	Übersicht über Negativliste für Parameterkombinationen.....	88
Tabelle 14:	Auffälligkeiten Wertebereichsprüfung.....	93
Tabelle 15:	Ausgewählte Auffälligkeiten der Konsistenz-Prüfungen.....	94
Tabelle 16:	Gruppenanalyse: Erklärungsgehalt der Parameter bezüglich cTotexS	111
Tabelle 17:	Modelle der RP2/3 inkl. Varianten.....	123
Tabelle 18:	Resultate Bottom-up-Verfahren.....	123
Tabelle 19:	Resultate Top-down-Verfahren	124
Tabelle 20:	Resultate Technical-Blocks-Verfahren.....	125
Tabelle 21:	Resultat Stream Rohrvolumen	135
Tabelle 22:	Resultat Stream Mantelfläche.....	136
Tabelle 23:	Resultat Stream TWM.....	137
Tabelle 24:	Resultat Stream Permutation	138
Tabelle 25:	Vorschläge Netzbetreiber	139
Tabelle 26:	Übersicht engere Modellauswahl	142
Tabelle 27:	Beschreibung finales Modell für den Effizienzvergleich	144
Tabelle 28:	Effizienzwerte des finalen Modells.....	144
Tabelle 29:	Peer-Analyse DEAIII cTotexN	148
Tabelle 30:	Peer-Analyse DEAIII cTotexS	148
Tabelle 31:	Parameternamen bei der Transportmomentbildung.....	167
Tabelle 32:	Beispiel Transportmomentberechnung	167

Tabelle 33:	Z-Parameter zur Abbildung der Gebietseigenschaften.....	171
Tabelle 34:	Liste der Parameter mit deskriptiven Statistiken	173
Tabelle 35:	Werte der Parameter des finalen Modells (gerundet)	179
Tabelle 36:	Effizienzwerte des finalen Modells im Einzelnen (gerundet).....	179

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Grundlegender Ansatz	17
Abbildung 2:	Illustration Effizienzkostengrenze.....	30
Abbildung 3:	Schematische Darstellung einer DEA.....	31
Abbildung 4:	Analyserahmen und Terminologie.....	32
Abbildung 5:	Vorgehen ingenieurwissenschaftliche Kostentreiberanalyse	34
Abbildung 6:	Vorgehen bei der Referenznetzanalyse	57
Abbildung 7:	Erklärungsgehalt der inputorientierten Rohrmantelfläche	60
Abbildung 8:	Erklärungsgehalt der outputorientierten Rohrmantelfläche	61
Abbildung 9:	Erklärungsgehalt des Rohrvolumens	62
Abbildung 10:	Erklärungsgehalt der Rohrleitungslänge	63
Abbildung 11:	Erklärungsgehalt der Polygonfläche	64
Abbildung 12:	Erklärungsgehalt der vertikalen Fläche.....	64
Abbildung 13:	Erklärungsgehalt des Transportwurzelmoments.....	65
Abbildung 14:	Wirkung von Fremdnutzungsanteilen auf Parameter	67
Abbildung 15:	Veranschaulichung Modellbildung mit Technical Blocks	85
Abbildung 16:	Darstellung Netzkarten deutschlandweit	95
Abbildung 17:	Darstellung Netzkarte (netzbetreiberscharf).....	95
Abbildung 18:	Parameterwerte RP4 pro RP3 sortiert nach cTotexN.....	97
Abbildung 19:	Aufwandsparameter	99
Abbildung 20:	Zusammenhang ausgewählter Vergleichsparameter.....	100
Abbildung 21:	Schiefstände und Teilnetzvollständigkeit	101
Abbildung 22:	Korrelation von TWM1/2 mit den Kosten.....	102
Abbildung 23:	Streudiagramme Kostenparameter und Vergleichsparameter aus EFG3..	103
Abbildung 24:	Aufteilung Jahresarbeit in horizontale und vertikale Komponente.....	104
Abbildung 25:	Streudiagramme von Flächenparameter und Kosten	105
Abbildung 26:	Verfahren bei der Modellbildung zur RP4.....	109

Abbildung 27: Korrelationsmatrix	113
Abbildung 28: Illustration optimale Modellgröße.....	114
Abbildung 29: Optimale Anzahl Parameter – LASSO-Ergebnisse	116
Abbildung 30: DEA Ausreißeranalyse	129
Abbildung 31: Verteilung der bestabgerechneten Effizienzwerte.....	145
Abbildung 32: Veränderung der bestabgerechneten Effizienzwerte	145
Abbildung 33: Effizienzwerte nach Kostenbasen vor und nach Ausreißeranalyse	146
Abbildung 34: Verteilung Supereffizienzwerte	147
Abbildung 35: Definition Verdichterleistung	163
Abbildung 36: Berechnungsprozess des TWM2	176
Abbildung 37: Vergleich der Bildung von TWM1 und TWM2	177

Abkürzungen

AA	Ausreißeranalyse
Adjusted R ²	Adjustiertes Bestimmtheitsmaß
ARegV	Anreizregulierungsverordnung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BIC	Bayessches Informationskriterium
BNetzA	Bundesnetzagentur
BTG	Bruchteilsgemeinschaften
BU	Bottom-up-Verfahren
CRS	Constant returns to scale
DEA	Data Envelopment Analysis
EFG3	Effizienzvergleich Fernleitungsnetzbetreiber Gas RP3
EFG4	Effizienzvergleich Fernleitungsnetzbetreiber Gas RP4
EHB	Erhebungsbogen
EVS2	Effizienzvergleich Verteilernetzbetreiber Strom RP2
EVS3	Effizienzvergleich Verteilernetzbetreiber Strom RP3
FNB	Fernleitungsnetzbetreiber

GIS	geographisches Informationssystem
H-Gas	High calorific gas
INES	Initiative Erdgasspeicher e.V.
KTA Ing	Ingenieurwissenschaftliche Kostentreiberanalyse
KTA Oec	Ökonomische Kostentreiberanalyse
KTA	Kostentreiberanalyse
LASSO	Least Absolute Shrinkage and Selection Operator
LD	Luftliniendistanz
L-Gas	Low calorific gas
LNG	Flüssigerdgas
NAP	Netzanschlusspunkte
NB	Netzbetreiber
NCG	Net Connect Germany
NDRS	Non decreasing returns to scale
NEP Gas	Netzentwicklungsplan Gas
NKP	Netzkopplungspunkte
NNLS	Non-negative least squares
OGE	Open Grid Europe GmbH
OLS	Ordinary Least Squares
OPAL	Ostsee-Pipeline-Anbindungsleitung
Qjahr	Jährliche Ein- bzw. Ausspeisemengen an den Ein- und Ausspeisepunkten
Qmax	zeitungleiche Höchstlasten an den Ein- und Ausspeisepunkten
Qsim	zeitgleiche Höchstlasten an den Ein- und Ausspeisepunkten
RD	Reale Distanz
RNA	Referenznetzanalyse
ROLS	Robust Ordinary Least Squares
RP2	Zweite Regulierungsperiode
RP3	Dritte Regulierungsperiode

RP4	Vierte Regulierungsperiode
SFA	Stochastic Frontier Analysis
TB	Technical-Blocks-Verfahren
TD	Top-down-Verfahren
TM	Transportmoment
TWM	Transportwurzelmoment
UTM	Universal Transverse Mercator
VIF	Variance inflation factors
VIP	Virtual Interconnection Point, virtueller Austauschpunkt
VNB	Verteilernetzbetreiber

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die vierte Regulierungsperiode (RP4) für Fernleitungsnetzbetreiber (FNB) beginnt am 01. Januar 2023. Zur Bestimmung der zulässigen individuellen Erlösobergrenzen der FNB ermittelt die Bundesnetzagentur (BNetzA) individuelle Effizienzwerte gemäß § 22 Abs. 3 Anreizregulierungsverordnung (ARegV) mittels eines nationalen Effizienzvergleichs, wobei § 12 Abs. 2 bis 4, § 13 Abs. 1 und 3 und § 14 ARegV entsprechend Anwendung finden sollen.

Bei dieser erneuten Durchführung eines bundesweiten Effizienzvergleichs der FNB besteht u. a. die Aufgabe, geeignete Kostentreiber zu identifizieren, um die Vergleichbarkeit der im Effizienzvergleich befindlichen Netzbetreiber (NB) im Hinblick auf deren Versorgungsaufgabe gewährleisten zu können. Spezielle Herausforderungen sind die Sicherstellung einer hohen Belastbarkeit der verwendeten Parameter und des Effizienzvergleichsmodells insgesamt sowie die Herstellung einer ausreichenden Kontinuität im Vergleich zu früheren Effizienzvergleichen.

1.2 Auftrag / Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund wurde Swiss Economics SE AG zusammen mit SUMICSID Group SPRL unter Beizug von Prof. Peter Vossiek der Hochschule Osnabrück und dem IAEW als Gutachter von der Bundesnetzagentur im Rahmen eines öffentlichen Ausschreibungsverfahrens im Sommer 2020 als Gutachter eingesetzt mit folgendem Auftrag:

- Unterstützung bei der Festlegung des Erhebungsbogens (EHB) sowie der Definitionen der Strukturdaten;
- Umfangreiche Plausibilisierung der bei den FNB abgefragten Daten;
- Vornehmen einer ingenieurswissenschaftlichen und ökonometrischen Kostentreiberanalyse (KTA Ing und KTA Oec);
- Ermittlung des Effizienzvergleichsmodells.

Das vorliegende Gutachten dokumentiert die Ergebnisse und Empfehlungen des Gutachterkonsortiums gegenüber der Bundesnetzagentur.

1.3 Vorgehen

1.3.1 Grundlegender Ansatz

Mit Blick auf die eingangs beschriebenen Herausforderungen und die geforderten Leistungen wird der in **Abbildung 1** dargestellte grundlegende Ansatz umgesetzt. Er baut direkt auf dem Vorgehen und den Erfahrungen des Gutachterkonsortiums im Rahmen früherer Effizienzvergleiche für die BNetzA auf, insbesondere dem Effizienzvergleich der vorangegangenen Regulierungsperiode EFG3 (Effizienzvergleich Fernleitungsnetzbetreiber Gas

der dritten Regulierungsperiode) und dem EVS3 (Effizienzvergleich der Verteilernetzbetreiber Strom der dritten Regulierungsperiode). Hinzu kommt neu die frühzeitige Mitarbeit bei der Festlegung der Datenanforderungen, was ein in den einzelnen Schritten noch besser abgestimmtes Vorgehen erlaubt.

Demnach wird der Effizienzvergleich entlang der folgenden fünf wesentlichen Schritte durchgeführt:

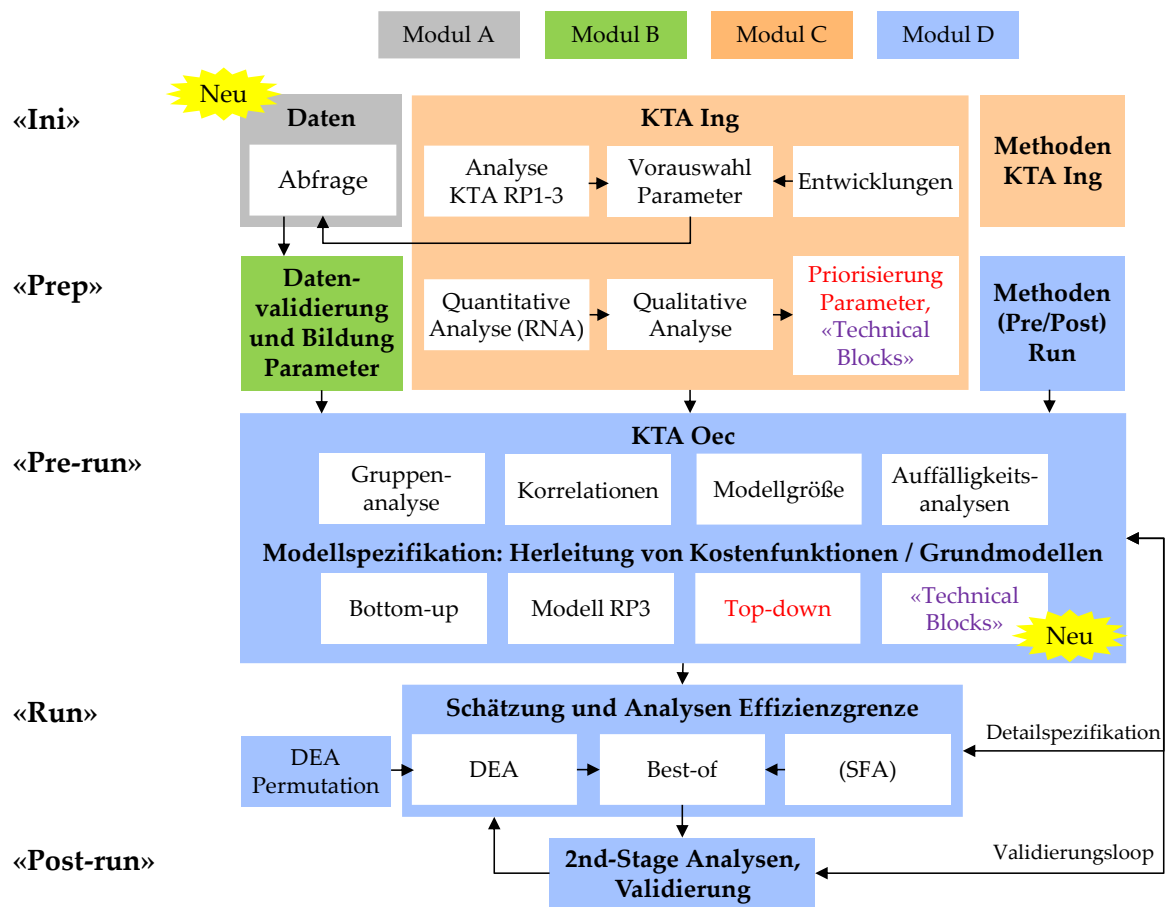
- **Ini:** Nach Auftragsvergabe werden die ingenieurwissenschaftlichen Vorarbeiten gestartet, um eine Vorauswahl von Vergleichsparametern zu erstellen und die zugehörigen, von den Netzbetreibern zu erhebenden Daten zu definieren. Zudem werden die Details der in der folgenden Phase zum Einsatz kommenden Referenznetzanalyse (RNA) festgesetzt und diese vorbereitet.
- **Prep:** Sobald die bei den FNB erhobenen Eingangsdaten vorliegen, starten die Vorarbeiten zum Effizienzvergleich. Die Eingangsdaten werden plausibilisiert und die Vergleichsparameter gebildet und validiert. Anschließend werden diese als Resultat ingenieurwissenschaftlicher, quantitativer (RNA) und analytischer Analysen eingeordnet, priorisiert und – neu im Vergleich zum EFG3 – auch sogenannte «Technical Blocks» gebildet, welche einzelne Versorgungsdimensionen aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht gut abbilden. Bei der RNA wird auf unterschiedliche Konstellationen von Fremdnutzungsanteilen fokussiert. Somit liegen eingangs zum Effizienzvergleich zum einen die zu untersuchenden Vergleichsparameter in priorisierter Form vor, zum anderen sind die Methoden und Kriterien für die Durchführung des Effizienzvergleichs festgelegt.
- **Pre-run:** Ausgehend von der KTA Oec, in der u. a. Untersuchungen zur Modellgröße erfolgen, werden unter Anwendung von vier verschiedenen Verfahren Grundmodelle hergeleitet, welche sich aus ökonomischer Sicht als Kostenfunktionen eignen:
 - **Modell RP3:** In einem ersten Verfahren wird das Modell der vorangegangenen Regulierungsperiode auf seine Eignung für die neuen Daten geprüft.
 - Beim **Top-down-Verfahren** wird auf die ingenieurwissenschaftliche Priorisierung des vorangegangenen Schritts zurückgegriffen und hierarchisch ausgehend von den Top-Parametern (Rohrvolumen, Rohrmantelfläche und Transportwurzelmoment) ein Modell entwickelt.
 - **«Technical Blocks»** Im Rahmen eines neuen Verfahrens werden die in der KTA Ing gebildeten Technical Blocks umfassend kombiniert, um gute Parameterkombinationen mit ingenieurwissenschaftlichem Gehalt zu finden. Das Verfahren verhindert im Gegensatz zum hierarchischen Top-down-Verfahren Pfadabhängigkeiten und stellt durch die Modellbildungsregeln gleichzeitig sicher, dass jedes untersuchte Modell die wesentlichen Versorgungsdimensionen abbildet.
 - Gegensätzlich zum Top-down- und Technical-Blocks-Verfahren wird wiederum das **Bottom-up-Verfahren** durchgeführt, welches – um etwaige Fehler der KTA Ing zu

kompensieren – bewusst vollkommen unabhängig von der vorgenommenen Priorisierung der Parameter aus rein statistischer Sicht gut erklärende Kostentreiber-Kombinationen identifiziert. Zum Einsatz kommt dabei das beim EVS3 aufgrund von Rückmeldungen der Netzbetreiber eingeführte LASSO-Verfahren.

- **Run:** Die so resultierenden Grundmodelle werden in Anwendung der DEA (SFA nicht anwendbar, vgl. spätere Ausführungen hierzu) inklusive der zugehörigen Ausreißeranalysen in verschiedenen Streams mit jeweils gleichen primären Parametern weiterentwickelt und dabei soweit nötig Fragen der Detailspezifikation geklärt. Zum Einsatz kommt dabei – wiederum um etwaige Fehlüberlegungen und etwaige Pfadabhängigkeiten in den vorangegangenen Schritten zu neutralisieren – eine Permutation aller möglichen Modelle, die nach vordefinierten Gütekriterien ausgewertet wird.
- **Post-run:** Die weiterentwickelten Modelle werden einer Second-Stage- und Peer-Analyse unterzogen und gegebenenfalls weiter angepasst. Die verbleibenden Modelle werden nochmals umfassend aus ingenieurwissenschaftlicher, ökonomischer und statistischer Sicht geprüft und es wird das Modell gewählt, welches die eingangs gesetzten Gütekriterien am besten erfüllt.

Die Phasen sind eng verzahnt, indem Erkenntnisse im Rahmen der KTA Ing in entsprechende Parameterdefinitionen einfließen. Ebenfalls spielen ingenieurwissenschaftliche Beurteilungen in die Validierung der Rohdaten der Netzbetreiber hinein. Beim Effizienzvergleich ist das Vorgehen stark iterativ, indem Erkenntnisse aus der Schätzung der Effizienzgrenze und aus den Ausreißer- und Second-Stage-Analysen wiederum in die Modellentwicklung einfließen. Farblich hervorgehoben ist in der Abbildung zudem die interne Organisation in Modulen.

Abbildung 1: Grundlegender Ansatz



Quelle: Eigene Darstellung

1.3.2 Meilensteine und Anhörungen

Im Projektverlauf ergaben sich die in **Tabelle 1** dargestellten Meilensteine.

Tabelle 1: Ausgewählte Meilensteine im Projektverlauf

Meilenstein	Termin	Inhalt
Beginn der Arbeiten	Juni 2020	- Kick-Off, Entwicklungen seit der RP3 - Start Arbeiten am Erhebungsbogen
Veranstaltung für die FNB zur Datenerhebung (Teil des Pretests)	22.09.2020	- Einholen von Inputs der FNB zur Datenerhebung - Parameter, die gestrichen werden können - Mögliche neue Parameter - Vorstellung Vorgehen Pretest
Rückmeldung zum Pretest	14.10.2020	Möglichkeit, den prov. EHB zu testen und Rückmeldungen anzubringen
	02.11.2020	Gespräch zur Klärung offener Punkte mit FNB
Beschluss Datenerhebung nach Anhörung	06.01.2021	Beschluss der BNetzA zum finalen EHB inkl. rechtlichem Gehör
Start Plausibilisierung BNetzA	01.05.2021	
Übermittlung der Struktur- und Kostendaten an Gutachter	ab 29.09.2021	Start Datenplausibilisierung Gutachter

Start Datenveröffentlichungen durch BNetzA	Oktober 2021 Dezember 2021	
Austausch mit FNB zu Datenschiefständen	12.01.2022	- Präsentation der Datenschiefstände - Diskussion hierzu - Anschließend Datenkorrekturen bei Bruchteilseigentum-Angaben bei NAP/NKP
Versand Datenquittungen inkl. Arbeitsstand Parameterdefinitionen durch BNetzA	Datenquittung A ab März 2022, Datenquittung B ab März 2022, Datenquittung C ab Juni 2022	- Gebildete Vergleichsparameter inkl. Dateianhänge - Jeweils aktueller Stand der Parameterdefinitionen (Anhang A)
Finale gebietsstrukturelle Daten	03.06.2022	
Finale Strukturdaten	16.08.2022	
Finale Datenveröffentlichung durch BNetzA	Ab August 2022	
Finale Kostendaten¹	15.09.2022	
Konsultation	27.09.2022	- Ergebnisse Datenvalidierung - Ergebnisse KTA Ing - Methoden und Gütekriterien Effizienzvergleich - Provisorische Ergebnisse Effizienzvergleich
Entwurf Gutachten („Anhörungsbericht“)	16.05.2022	Ergebnisse, Dokumentation

Quelle: Eigene Darstellung

Im Rahmen der Arbeiten wurden die Netzbetreiber und Vertreter der betroffenen Wirtschaftskreise und Verbraucher an verschiedenen Stellen einbezogen (dunkelblaue Elemente in Tabelle 1):

- **Datenerhebung:** Die Netzbetreiber wurden frühzeitig bei der Datenerhebung der Strukturdaten miteinbezogen (Austausch zum provisorischen Stand des Erhebungsbogens, Pretest, Anhörung Datenerhebungsbeschluss).
- **Datenquittungen:** Die FNB haben die mit ihren Daten gebildeten Parameter zu verschiedenen Zeitpunkten jeweils zusammen mit einer ausführlichen Dokumentation der Bildungsweise (Anhang A) erhalten. Zudem organisierte die BNetzA eine Veranstaltung mit den FNB zum Stand der Datenvalidierung insbesondere mit Blick auf die von BNetzA und Gutachtern festgestellten Schiefstände einzelner Netzbetreiber bzw. Teilnetze.
- **Datenveröffentlichung:** Neu wurden die gebildeten Parameter in einem gemeinsamen Datensatz von der Bundesnetzagentur noch vor der Konsultation veröffentlicht und die Netzbetreiber eingeladen, diese zu überprüfen und so zur Datenvalidierung beizutragen.

¹ Eine marginale Änderung, die schon am 15.09.2022 bekannt war, wurde den Gutachtern am 07.11.2022 übermittelt.

- **Konsultation:** Bei der Konsultation wurde das Vorgehen, die Methoden und resultierende Modelle vorgestellt und den Netzbetreibern die Möglichkeit eingeräumt, an der Veranstaltung eigene Modelle zu präsentieren.
- **Entwurf Gutachten:** Die provisorischen Resultate wurden im Rahmen des vorliegenden ausführlichen Gutachtens dokumentiert und im Rahmen einer Anhörung zur Diskussion gestellt.

Wie die Netzbetreiber von diesen Möglichkeiten Gebrauch gemacht haben und inwieweit den Wünschen entsprochen werden konnte, wird nachfolgend dokumentiert.

1.3.3 Spezifische Berücksichtigung der Anliegen der Netzbetreiber

Vorbereitung Beschluss Erhebungsbogen Strukturdaten

Im Rahmen der FNB-Veranstaltungen zur Datenerhebung und des Pretests wurden die Überlegungen des Konsortiums zur Datenabfrage im Kontext der zu bildenden Parameter dargestellt. Dabei wurden insbesondere im Kontext der Corona-Pandemie Einschätzungen dahingehend geäußert, dass deren Effekte grundsätzlich durch bestehenden Vergleichsparameter abbildbar sind. Die Netzbetreiber hatten hierbei jeweils Möglichkeiten zur Stellungnahme und Einbringung von Vorschlägen, wobei von letzterer Möglichkeit kein Gebrauch gemacht wurde.

Beschluss Erhebungsbogen Strukturdaten

Zum Beschluss zur Datenerhebung der BNetzA wurde den Netzbetreibern ebenfalls die Möglichkeit eingeräumt, neben Anliegen zur Anpassung der Datenerhebung auch Parametervorschläge einzubringen. Hiervon wurde zunächst kein Gebrauch gemacht.

Im Lauf der anschließenden Datenerhebung und -validierung sind Vorschläge eingegangen, die in Abschnitt 3.1.5 diskutiert werden.

Datenveröffentlichungen

Im Rahmen der Datenveröffentlichung wurde auf die Korrekturmeldungen der FNB eingegangen.

Datenquittungen mit Anhang Parameterdefinitionen

Datenquittungen inklusive detaillierter Beschreibung zur Bildung der Parameter wurden den Netzbetreiber gestaffelt übermittelt (vgl. Anhang A.3). Entsprechende Fragen der Netzbetreiber insbesondere auch im Kontext der Bildung der gebietsstrukturellen Parameter (TWM mit TWM2, Verzweigungen, Maschen) konnten beantwortet werden. In dem Zusammenhang wurde von einem Netzbetreiber die inputorientierte Bildung der Mantelfläche gefordert. Dem Anliegen wurde entsprochen, wobei andere Netzbetreiber diese Bildung anschließend kritisiert hatten.

Konsultation²

Die Konsultation fand am 27.09.2022 per Videokonferenz statt und umfasste sämtliche, bis dahin durchgeführte Schritte des Effizienzvergleichs bis hin zur Gegenüberstellung besonders geeigneter Modelle. Die Netzbetreiber bzw. Vereinigungen und Verbände waren hierbei eingeladen, eigene Modelle zu präsentieren – dies war aufgrund der Datenveröffentlichung deutlich leichter möglich als in der Vergangenheit. Diese Möglichkeit wurde von den Netzbetreibern nur vereinzelt wahrgenommen. Darüber hinaus wurden während der Veranstaltungen kaum Anregungen gegeben. Demgegenüber nutzten die Beteiligten die Möglichkeit zur schriftlichen Stellungnahme ausgiebig. Insgesamt gingen zehn Stellungnahmen von elf Netzbetreibern bei der BNetzA ein, welche systematisch ausgewertet wurden. Nachfolgend sind die oftmals in mehreren der Stellungnahmen parallel enthaltenen Anmerkungen in den wesentlichen Linien grob zusammengefasst. Viele Punkte werden mit diesem Gutachten bzw. den Ausführungen in den Kapiteln 3 bis 5 adressiert.

Betreffend **KTA Ing (Inhalte Kapitel 3)** wurde zum Teil das neue Technical-Blocks-Verfahren nicht genau verstanden bzw. weitere Ausführungen gefordert, die sich in diesem Gutachten finden (Abschnitte 3.5.2 und Abschnitt 5.4.1). Es wurden keine neuen Parameter vorgeschlagen oder angeregt, die vorgenommen Definitionen und Berechnungsweisen der untersuchten Parameter anzupassen. Stattdessen ging – mit unterschiedlichen Standpunkten – eine Vielzahl an Einschätzungen zur Eignung der gebildeten Parameter ein. Beispielsweise seien genannt:

- Von vielen Netzbetreiber kritisiert wurden die „dynamischen Parameter“, also Parameter, welche die Transportaufgabe des Basisjahrs abbilden oder auf dieser basieren (Jahresarbeit, Jahreshöchstlast, TM/TWM mit TWM2), da diese im Zeitablauf zu wenig stabil seien. Die Diskussion hierzu wird im Gutachten an verschiedenen Stellen in den Abschnitten 3.1.2 und teils 3.4 aufgenommen und fließt so auch in die Modellbildung ein. Zusammenfassend zeigt gerade die Entwicklung der gaswirtschaftlichen Situation, dass sich die Gasflüsse ändern können. Gleichzeitig erfolgt im Effizienzvergleich eine Basisjahrbetrachtung, weshalb Parameter, welche arbeitsabhängige Kosten im Basisjahr abbilden, nicht im Vorherein ausgeschlossen werden.
- Die Bildung der vertikalen und horizontalen Parameter, darunter die Neubildung „vertikale Fläche“, vgl. hierzu Abschnitt 3.1.3, wurde kontrovers beurteilt, wobei die Diskussion auch die diesbezüglich unterschiedlichen Versorgungsaufgaben der Netzbetreiber abbildet.

² Im Abschnitt werden die Inhalte der Konsultationsveranstaltung sowie der Stellungnahmen grob dargestellt. Die eigentlichen Erwiderungen bzw. Erläuterungen zu den aufgeworfenen Fragen und Inhalten werden näher in den entsprechenden Abschnitten und Kapiteln dieses Gutachtens explizit oder implizit erörtert.

- Beim neuen Parameter Regler-Nenndurchfluss wurde teils bemängelt, dass von einem uneinheitlichen Vorgehen bei den Netzbetreibern bezüglich der Datenerhebung auszugehen sei – hier hätten die Netzbetreiber allerdings die Möglichkeit gehabt, spätestens bei der Anhörung zum Erhebungsbogen auf diese Problematik hinzuweisen. Darüber hinaus wurde die Eignung des Parameters als Kostentreiber insbesondere aufgrund der historisch gewachsenen Struktur der Netze kritisiert (zufällig ob in vor- oder nachgelagerten Netz). Die Intention der Nutzung dieses Parameters wird daher im Rahmen der qualitativen Bewertung des Parameters in Kapitel 3.4 dargestellt.
- Bei der Rohrmantelfläche, nun in zwei Varianten gebildet, gehen die Meinungen der Netzbetreiber auseinander. Die Einschätzung des Konsortiums findet sich in Abschnitt 3.4.1.
- Bezüglich der Polygonfläche ziehen die FNB die teilnetzstarke Bestimmung vor (also yArea statt yArea_all), teils wird auch der Ersatz mit der vertikalen Fläche gefordert.

Als Folge der Rückmeldungen wurde die abschließende ingenieurwissenschaftliche Einschätzung der Parameter leicht angepasst (Details vgl. 3.4, Resultate vgl. Abschnitt 3.5).

Die eingegangenen Stellungnahmen äußerten sich nicht zur **Datenvalidierung (Inhalte Kapitel 4)**, ebenso wurden keine Auffälligkeiten zu den Daten gemeldet. Dies war bereits Inhalt der Rückmeldungen zur Datenveröffentlichung.

Zum **Effizienzvergleich (Inhalte Kapitel 5)** wurde in methodischer Hinsicht zu Unrecht bemängelt, dass 16 Netzbetreiber zur Anwendung einer DEA nicht ausreichen würden. Die Anzahl der Beobachtungen hat jedoch wichtige Implikationen für die zulässige Anzahl Ausreißer, die in Abschnitt 5.5.1.4 ausgeführt sind. Zu den durchgeführten Verfahren und deren Zusammenspiel wurden mehr Informationen gewünscht, was mit diesem Bericht erfüllt wird. Eher kritisch wurde die durchgeführte Permutation beurteilt. Die Kriterien zu deren Auswertung sind in Abschnitt 5.5.2 dokumentiert. Die Verwendung der Permutation stellt vorliegend aufgrund der begrenzten Anzahl zulässiger Parameter je Effizienzmodell eine mögliche Ergänzung bei der Modellsuche und -validierung dar. Bezüglich der verwendeten Skalenerträge und Ausreißerverfahren (Dominanzanalyse, Supereffizienzanalyse) wurden Wünsche aus vergangenen Regulierungsperioden erneut vorgetragen, denen weiterhin nicht entsprochen werden kann. Die eigentlichen Ausreißerverfahren sind in Abschnitt 5.5.1.3 diskutiert. Diesbezüglich wird der F-Test der Grundannahme früherer Effizienzvergleiche angepasst, wonach die Ineffizienz exponentiell verteilt sei. Vorliegend zeigt dies nur in Ausnahmefällen überhaupt eine Wirkung. Die BNetzA bzw. deren Gutachter reagieren damit auf Forderungen der Netzbetreiber, welche im Rahmen des EVS2 gestellt wurden (Umstellung der SFA von halbnormal auf exponentiell). Eine hierauf passende Umstellung des F-Testes hat im Nachgang zum letzten FNB-Durchlauf EFG3 stattgefunden und wird seitdem über alle Sektoren einheitlich durch die BNetzA verwendet.

Bezüglich der im Rahmen der Konsultationsveranstaltung vorgestellten Modellauswahl gingen die Meinungen der FNB teils auseinander. Über alle Netzbetreiber erhält das Modell

der RP3 in seiner Weiterentwicklung RP3+ mit der teilnetzscharfen Polygonfläche viel Zuspruch. Mehrheitlich verworfen wurde demgegenüber das Modell RP3++ mit dem zusätzlichen Ersatz der Fläche durch den Nenndurchfluss der Druckregler. Weitere Modelle mit Letzteren wurden ebenfalls kritisch gesehen wie auch das TWM-Modell. Uneins sind die Netzbetreiber ebenfalls über die Verwendung vertikaler Parameter in Effizienzvergleichsmodellen. Die nachfolgend dargelegten Analysen ab Abschnitt 5.4.2 zeigen, dass der Einsatz vertikaler Parameter in Verbindung mit Parametern der Rohrgeometrie (Volumen, Mantelfläche, exogene Variante TWM) zu Multikollinearität zwischen den Vergleichsparametern führt. Gleichzeitig liegt es nahe, dass Parameter wie die Anzahl der Ausspeisepunkte dem Aspekt der vertikalen Verteilung ebenfalls gerecht werden.

Gutachten

Schließlich bestand für die Netzbetreiber die Möglichkeit, zum vorliegenden Gutachten (Version V1 Anhörungsbericht) Stellung zu beziehen. Acht Stellungnahmen von neun Netzbetreibern sind eingegangen. Die Stellungnahmen lassen sich in zwei Gruppen einteilen.

Von einer ersten Gruppe gingen positive Würdigungen zum Vorgehen („durchgehend positive, konstruktive Zusammenarbeit im Rahmen des gesamten Prozesses“, „stets konstruktiv wahrgenommene inhaltliche Auseinandersetzung im Verlaufe des Verfahrens“) und Effizienzvergleichsmodell ein („kontinuierliche und behutsame Weiterentwicklung“). Es werde der Heterogenität der Netzbetreiber im Rahmen der Modellwahl Rechnung getragen und dabei gleichzeitig die Vorhersehbarkeit und Kontinuität des Effizienzvergleichs nicht aus den Augen verloren, ebenso werde die netztechnische Flexibilität berücksichtigt.

Eine zweite Gruppe äußerte sich bedeutend kritischer und ausführlicher. Teils gingen auch eigene Modellvorschläge ein, die in Abschnitt 5.5.2.5 diskutiert werden (darunter solche, die schon in der Konsultation eingereicht wurden, aber, obwohl gesichtet, nicht dokumentiert wurden). Von mehreren Netzbetreibern kritisiert wurden Aspekte der Ausreißeranalyse sowie die Annahme konstanter Skalenerträge im Zusammenhang mit der abzubildenden Heterogenität:

- Die bei der DEA angewendeten Faustregeln zur Anzahl der Ausreißer bleiben im Vergleich zur dritten Regulierungsperiode unverändert und wurde bereits großzügig ausgelegt (vgl. Ausführungen in Abschnitt 5.5.1.4), wir sehen hier keinen Raum für weitere Lockerungen, da eine ausreichende Aussage- und Diskriminierungskraft wesentlich ist für einen relativen Effizienzvergleich. Gleichzeitig besteht keine Notwendigkeit hierfür, da viele gute Modelle vorhanden sind, welche zu gar keinen Ausreißern führen und insofern die Heterogenität gut abzubilden vermögen. Die Kritik am Dominanztest wurde schon ausführlich im EFG3 abgehandelt, insbesondere stellt das vorgeschlagene Bootstrapping keine Alternative dar. Der Schwellenwert für die Supereffizienzanalyse ist in der ARegV festgelegt und gegenüber dem geforderten qualitativ bzw. arbiträr festzulegenden Schwellenwert vorzuziehen, der, je nach Festsetzung, die Modellwahl stark einschränkt. Diesbezüglich gut schneidet übrigens das Modell TWM2 der Endauswahl

in Tabelle 26 ab, welches jedoch von keinem Netzbetreiber gewünscht wurde.³ Weiterhin nicht angebracht sehen wir eine iterative Anwendung der Supereffizienzanalyse (vgl. hierzu auch Ausführungen in Abschnitt 5.5.1.3).

- Konstante Skalenerträge sind in der ARegV vorgesehen und implizieren aus regulierungsökonomischer Sicht, dass die optimale Betriebsgröße sich im Markt ergeben soll. Die im Wesentlichen linearen Zusammenhänge zwischen Aufwand- und Vergleichsparametern stützen die Annahme (vgl. z. B. Abbildung 23). Konsequenz ist, das verhältnismäßig kleine Betreiber Peer für mittlere und größere Netzbetreiber sein können und umgekehrt. Diesbezüglich greift auch die teils geäußerte Kritik an der Peer-Analyse ins Leere. Die Heterogenität der Netzbetreiber wird als Konsequenz über die verwendeten Vergleichsparameter abgebildet.
- Verschiedentlich werden Effekte einer Einzelinvestition (EUGAL) mit vier beteiligten FNB aufgezeigt und hieraus ein verzerrende Ergebnisse abgeleitet. In dem Zusammenhang wird auf die Wirkung des Flächenparameters hingewiesen und bemängelt, dass bei dessen Bildung Fremdnutzungsanteile nicht rausgerechnet werden. Der (relative) Effizienzvergleich ist auf Ebene der FNB durchzuführen und nicht auf Ebene von einzelnen Investitionen (außer solche würden zu neuen FNB führen). Die Durchführung der Investition war von den Netzbetreibern angeregt worden; die Strukturierung und die Beteiligungsverhältnisse beruhen auf Entscheidungen der Netzbetreiber. Bei der Fläche wird, wie auch schon in früheren Regulierungsperioden, bewusst keine Korrektur von Fremdnutzungsanteilen vorgenommen, da der Parameter der Dienstleistungsdimension angehört. Insofern leitet sich kein Handlungsbedarf an einer nachträglichen Anpassung der Datengrundlage (neuer hypothetischer FNB) oder des Effizienzvergleichsmodells ab.

Von jeweils einem Netzbetreiber wurden folgende Punkte bemängelt:

- Beim Technical-Blocks-Verfahren würde es zu Verzerrungen kommen, weil die Gruppe TM/TWM in der Kapazitätsdimension zu oft vorkomme und daher nur eine kleine Anzahl von anderen Parametern in der Kapazitätsdimension verbleibe. Schon nur die Auswertung in Tabelle 20 zeigt, dass das TB-Verfahren nicht zu einer statistischen Auswahl führt, da von mehr als 20 Modellen nur 2 aus der Gruppe TM/TWM stammen, darunter kein TWM-Modell. Dies rührt daher, dass alle aus dem TB-Verfahren resultierenden Modelle gleichberechtigt ausgewertet werden. Ein anderer Netzbetreiber befürchtet, dass im Verfahren Modelle mit der inputorientierten Rohrmantelfläche zu kurz kommen könnten. Auch dies ist nicht der Fall, da diese in mehreren Blocks vorgesehen ist (genau gleich viele wie z. B. das Rohrvolumen).
- Ein Netzbetreiber kritisiert den Parameter der versorgten Fläche (y_{Area}) und spricht sich stattdessen für die vertikale Fläche aus. Wie bereits oben im Abschnitt Konsultation

³ Der Netzbetreiber, der den qualitativen Schwellenwert fordert, kritisiert gleichzeitig das TWM2 als Parameter.

ausgeführt, weist die vertikale Fläche statistische Nachteile in Modellen mit Parametern der Rohrgeometrie aus und führt teils zu zu vielen DEA-Ausreißern. Aus konzeptioneller Sicht ist die Fläche, wie z. B. in Abschnitt 3.4.5 ausgeführt, schwierig zu fassen. Die Analyse der Netzkarten zeigt, dass die Polygonfläche diesbezüglich zu keiner wesentlichen Verbesserungen führt, welche die statistischen Bedenken verdrängen könnten.

- Ein Netzbetreiber kritisiert mehrfach die outputorientierte Mantelfläche, da diese FNB mit viel Bruchteilseigentum bevorteile, spricht sich aber gleichzeitig für ein Modell aus, das maßgeblich aus dieser besteht (erstes Modell im unteren Bereich von Tabelle 22). Unsere Beurteilung des Modells findet sich in den Ausführungen zur Tabelle und bleibt unverändert.
- Ein Netzbetreiber bemängelt, dass er im Großteil der „dynamischen“ Vergleichsparameter das beste Parameter/Kosten-Verhältnis aufweise, jedoch trotzdem nicht einen Effizienzwert von 100% erreiche. Dynamische Parameter wurden von den Netzbetreibern großmehrheitlich abgelehnt, aber gleichwohl eingehend untersucht (vgl. auch Referenzen unter Konsultation hierzu).
- Ein Netzbetreiber spricht sich für eine stärkere Berücksichtigung von Bodenklassen aus. Hierzu sei auf die Ausführungen zu Abbildung 27 hingewiesen. Namentlich erachten wir eine besonders hohe Korrelation ausgewählter, besonders teurer Bodenklassen zu den Kosten nicht als wünschenswerte Eigenschaft, da die Kosten der Netzbetreiber maßgeblich von anderen Faktoren getrieben sind (zu verlegende Rohrleitungskapazität in allen Bodenklassen). Deshalb werden bei der Weiterentwicklung der Grundmodelle gemäß Abschnitt 5.5.2 Modelle mit Bodenklassen bevorzugt, wenn diese nicht primär ein Proxy für Leitungslänge sind, sondern ergänzend hierzu stehen, wobei insbesondere die weiterentwickelten, schweren Aufwandklassen im Fokus stehen.

1.4 Struktur des Berichts

Der Bericht gliedert sich wie folgt:

- Kapitel 2 fasst die ökonomischen und rechtlichen Grundlagen zusammen;
- Kapitel 3 enthält die wichtigsten Ergebnisse der KTA Ing;
- Kapitel 4 dokumentiert die vorgenommene Datenvalidierung;
- Kapitel 5 dokumentiert den vorgenommenen Effizienzvergleich.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt die ökonomischen Grundlagen der Effizienzmessung, die rechtlichen Vorgaben für die Anreizregulierung in Deutschland sowie die gewählte Terminologie.⁴

Gasfernleitungsnetze gelten als natürliche Monopole, die nicht bestreitbar sind (sogenannte monopolistische Engpässe)⁵. Um die Anreize zur volkswirtschaftlich effizienten Preisbildung und Leistungserstellung zu stärken, sind in den letzten Jahrzehnten vermehrt Regulierungsansätze mit dynamischen Preisobergrenzen umgesetzt worden. Um die Kosteneffizienzanreize der einzelnen Akteure zu erhöhen, spielen Effizienzvergleiche eine wesentliche Rolle.⁶ Sie haben zum Ziel, die Effizienz eines Netzbetreibers im Vergleich zur „Best Practice“ der Branche zu messen und die Preisfestsetzung jedes Netzbetreibers an seine zugestandenen Erlöse und damit indirekt auch an dessen relative Effizienz zu koppeln.

In Deutschland wurde eine solche Anreizregulierung zum 01.01.2009 (Beginn der ersten Regulierungsperiode) eingeführt. Hierzu wurden erstmals nationale Effizienzvergleiche für die Betreiber der Fernleitungs- und Verteilernetze (FNB und VNB) durchgeführt. Die BNetzA führt im Hinblick auf die vierte Regulierungsperiode zum vierten Mal einen Effizienzvergleich für die FNB in Deutschland durch⁷. Die festgestellte Effizienz eines Netzbetreibers (NB) bestimmt mit, welche Erlösobergrenzen für diesen während der nächsten Regulierungsperiode gelten bzw. welchen Anteil der beeinflussbaren Kosten dieser bei der Festlegung der Netzentgelte berücksichtigen darf. Der Effizienzvergleich und die dabei zu beachtenden Rahmenbedingungen sind in der ARegV, wie folgt, kodifiziert.

2.1 Rechtliche Vorgaben

Die Erlösobergrenzen zu den Energieversorgungsnetzen der FNB werden gem. § 1 ARegV seit dem 01.01.2009 im Wege der Anreizregulierung bestimmt. Hierzu werden gem. §§ 4

⁴ Das Kapitel basiert auf Swiss Economics (2018, EFG3) und Swiss Economics (2019, EVS3).

⁵ Ein natürliches Monopol bedeutet, dass im relevanten Teil der Nachfrage die Gesamtkosten dann am niedrigsten sind, wenn nur ein Unternehmen das jeweilige Gebiet versorgt. Da überdies ein Großteil der Kosten irreversibel ist und keine kostengünstigen Substitute zum Gastransport vorhanden sind, handelt es sich um ein nicht bestreitbares natürliches Monopol (monopolistischer Engpass bzw. „Essential Facility“).

⁶ Ein wesentlicher Effizienzanreiz stammt von der Entkopplung von Erlösen und effektiven Kosten während der Dauer der Regulierungsperiode. Einsparungen, die über den Pfad der Erlösobergrenze hinausgehen, können einbehalten werden. Gleichzeitig bestehen aber Anreize für Netzbetreiber, im Basisjahr, von dem aus die Erlösobergrenze abgeleitet wird, möglichst hohe Kosten auszuweisen und Effizienzverbesserungen insbesondere in den ersten Jahren der Regulierungsperiode zu realisieren (sog. «Ratchet Effect»). Dem wirkt der Effizienzvergleich entgegen, indem Kostenerhöhungen die gemessene Ineffizienz erhöhen, welche wiederum die Erlösobergrenze reduziert.

⁷ In der ersten Regulierungsperiode wurden dabei für zunächst zwei unterschiedliche Netzbetreibergruppen zwei Effizienzvergleiche durchgeführt.

und 7 ARegV Obergrenzen der zulässigen Gesamterlöse eines Netzbetreibers in Anwendung der Regulierungsformel in Anlage 1 ARegV festgesetzt.

Wesentliches Element hierbei ist die individuelle Effizienz eines Netzbetreibers, auf deren Grundlage der entsprechend abzubauen Kostenanteil gem. § 11 ARegV ermittelt wird. Effizienzberechnungen und daraus abgeleitet abzubauen ineffiziente Kosten beziehen sich stets nur auf die vom Netzbetreiber grundsätzlich beeinflussbaren Kosten. Bei der Bestimmung reduzierter Erlösobergrenzen sind dauerhaft nicht beeinflussbare Kostenanteile außer Betracht zu lassen, der nicht abzubauen Teil der Kosten wird als „vorübergehend nicht beeinflussbare Kosten“ bezeichnet.

Zur Ermittlung individueller Effizienzwerte der Fernleitungsnetzbetreiber ist die Durchführung eines nationalen Effizienzvergleichs vorgesehen. Der Effizienzvergleich ist nach § 22 Abs. 3, § 12 Abs. 2 bis 4, § 13 Abs. 1 und 3 und § 14 ARegV i. V. m. den in Anlage 3 genannten Methoden zu § 12 ARegV durchzuführen, woraus sich ein individueller Effizienzwert je NB zwischen 60 Prozent und 100 Prozent ergibt.

2.1.1 Effizienzvergleichsmethoden und Ausreißeranalysen

Gem. § 12 ARegV i.V.m. Anlage 3 Nr. 1 ARegV sollen zur Bestimmung der individuellen Effizienzen der Netzbetreiber die Methoden DEA (Data Envelopment Analysis) und SFA (Stochastic Frontier Analysis) zur Anwendung gelangen:

- **DEA:** „DEA im Sinne dieser Verordnung ist eine nicht-parametrische Methode, in der die optimalen Kombinationen von Aufwand und Leistung aus einem linearen Optimierungsproblem resultieren. Durch die DEA erfolgt die Bestimmung einer Effizienzgrenze aus den Daten aller in den Effizienzvergleich einzubeziehenden Unternehmen und die Ermittlung der relativen Positionen der einzelnen Unternehmen gegenüber dieser Effizienzgrenze.“
- **SFA:** „Die SFA ist eine parametrische Methode, die einen funktionalen Zusammenhang zwischen Aufwand und Leistung in Form einer Kostenfunktion herstellt. Im Rahmen der SFA werden die Abweichungen zwischen den tatsächlichen und den regressionsanalytisch geschätzten Kosten in einen symmetrisch verteilten Störterm und eine positiv verteilte Restkomponente zerlegt. Die Restkomponente ist Ausdruck von Ineffizienz. Es wird somit von einer schiefen Verteilung der Restkomponente ausgegangen.“

Stehen für die Durchführung einer SFA nicht Daten einer hinreichenden Anzahl an Netzbetreibern zur Verfügung, findet ausschließlich die DEA Anwendung (§ 22 Abs. 3 S. 2 ARegV).

Weitere Vorgaben zur Methodik befinden sich in Anlage 3 zu § 12 ARegV:

- Einbezug aller Netzebenen (bzw. Druckstufen), keine Ermittlung von Teileffizienzen je Netzebene (Nr. 3);
- Bei der Durchführung der DEA sind konstante Skalenerträge zu unterstellen (Nr. 4);

- Für DEA und SFA sind Ausreißeranalysen zur Identifikation von extremen Effizienzwerten (Ausreißern) nach dem Stand der Wissenschaft durchzuführen. „Ermittelte Ausreißer in dem Sinne, dass sie eine besonders hohe Effizienz aufweisen, werden mit einem Effizienzwert von 100 Prozent festgesetzt. Ausreißer in dem Sinne, dass sie eine besonders niedrige Effizienz aufweisen, erhalten den Mindesteffizienzwert nach § 12 Abs. 4 Satz 1.“ (Nr. 5).
- Bei den Ausreißeranalysen sind folgende Punkte zu beachten (Nr. 5 Abschnitte 2 und 3):
 - «Bei der nicht-parametrischen Methode [DEA] gilt ein Wert dann als Ausreißer, wenn er für einen *überwiegenden Teil des Datensatzes* als Effizienzmaßstab gelten würde [nachfolgend als Dominanzanalyse referenziert]. Zur Ermittlung von Ausreißern sind *statistische Tests* durchzuführen. Dabei ist die *mittlere Effizienz aller Netzbetreiber einschließlich der potenziellen Ausreißer mit der mittleren Effizienz der Netzbetreiber zu vergleichen, die sich bei Ausschluss der potenziellen Ausreißer ergeben würde*. Der dabei festgestellte Unterschied ist mit einer *Vertrauenswahrscheinlichkeit von mindestens 95 Prozent* zu identifizieren. *Die auf diese Weise festgestellten Ausreißer sind aus dem Datensatz zu entfernen*. Ergänzend ist eine Analyse der Supereffizienzwerte durchzuführen [nachfolgend als Supereffizienzanalyse referenziert]. Dabei sind diejenigen Ausreißer aus dem Datensatz zu entfernen, deren Effizienzwerte *den oberen Quartilswert um mehr als den 1,5fachen Quartilsabstand übersteigen*. Der Quartilsabstand ist dabei definiert als die *Spannweite der zentralen 50 Prozent eines Datensatzes*.»
 - «Bei der parametrischen Methode gilt ein Wert dann als Ausreißer, wenn er die *Lage der ermittelten Regressionsgerade* zu einem *erheblichen Maß* beeinflusst. Zur Ermittlung dieses erheblichen Einflusses sind *statistische Tests* durchzuführen, mit denen *ein numerischer Wert für den Einfluss* zu bestimmen ist. *Liegt der ermittelte Wert über einem methodisch angemessenen kritischen Wert*, so ist der *Ausreißer aus dem Datensatz zu entfernen*. Methoden, die zur Anwendung kommen können, sind insbesondere Cooks-Distance, DFBETAS, DFFITS, Covariance-Ratio oder Robuste Regression.»
- Nach § 12 Abs. 1 ARegV sind die betroffenen Wirtschaftskreise und Verbraucher bezüglich der Ausgestaltung der Methoden rechtzeitig anzuhören.

2.1.2 Aufwandsparemeter

Die im Rahmen des Effizienzvergleichs als Aufwandsparemeter anzusetzenden Kosten sind gem. § 14 ARegV die Gesamtkosten abzüglich der dauerhaft nicht beeinflussbaren Kosten.

Die Kosten sind gem. § 14 ARegV mittels einer Vergleichbarkeitsrechnung anzupassen, um mögliche Verzerrungen bei Kapitalkosten zu begrenzen. Die relevanten Gesamtkostenanteile vor Vergleichbarkeitsrechnung werden nachfolgend mit „nicht standardisiert“ bzw. „cTotexN“, die Kosten nach Vergleichbarkeitsrechnung mit „standardisiert“ bzw. „cTotexS“ bezeichnet.

DEA und SFA sind gem. § 12 Abs. 4a ARegV ergänzend auch für nicht standardisierte Kosten durchzuführen.

2.1.3 Vergleichsparameter

Vergleichsparameter sind gem. § 13 Abs. 3 ARegV „Parameter zur Bestimmung der Versorgungsaufgaben [nachfolgend Y-Variablen] und der Gebietseigenschaften, insb. geographische, geologische oder topografische Merkmale sowie strukturelle Besonderheiten der Versorgungsaufgabe auf Grund demografischen Wandels des versorgten Gebietes [nachfolgend Z-Variablen]“.

Absatz 3 stellt eine Reihe von Vorgaben an die Wahl der Vergleichsparameter:

- Die Vergleichsparameter müssen „geeignet sein, die Belastbarkeit des Effizienzvergleichs zu stützen. Dies ist insbesondere dann anzunehmen, wenn sie *messbar oder mengenmäßig erfassbar, nicht durch Entscheidungen des Netzbetreibers bestimmbar und nicht in ihrer Wirkung ganz oder teilweise wiederholend* sind, insbesondere *nicht bereits durch andere Parameter abgebildet werden* (§ 13 Abs. 3 S. 2 und 3 ARegV).“
- Vergleichsparameter können gemäß § 13 Abs. 3 S. 4 ARegV insbesondere sein:
 - „die Anzahl der Anschlusspunkte oder der Zählpunkte in Stromversorgungsnetzen und der Ausspeisepunkte oder der Messstellen in Gasversorgungsnetzen,
 - die Fläche des versorgten Gebietes,
 - die Leitungslänge oder das Rohrvolumen,
 - die Jahresarbeit,
 - die zeitgleiche Jahreshöchstlast,
 - [...]“.
- Bei der Bestimmung von Z-Variablen können flächenbezogene Durchschnittswerte gebildet werden (§ 13 Abs. 3 S. 5 ARegV).
- Vergleichsparameter können bezogen auf die verschiedenen Netzebenen verwendet werden; ein Vergleich einzelner Netzebenen findet nicht statt (§ 13 Abs. 3 S. 6 ARegV).
- Die Auswahl der Vergleichsparameter hat mit qualitativen, analytischen oder statistischen Methoden zu erfolgen, die dem Stand der Wissenschaft entsprechen (§ 13 Abs. 3 S. 7 ARegV).
- Durch die Auswahl der Vergleichsparameter soll die strukturelle Vergleichbarkeit möglichst weitgehend gewährleistet sein und die Heterogenität der Aufgaben der Netzbetreiber soll möglichst weitgehend abgebildet werden (§ 13 Abs. 3 S. 8 ARegV). Dabei sind die Unterschiede zwischen Strom- und Gasversorgungsnetzen zu berücksichtigen, insbesondere der unterschiedliche Erschließungs- und Anschlussgrad von Gasversorgungsnetzen (§ 13 Abs. 3 S. 9 ARegV).
- Bei der Auswahl der Vergleichsparameter sind Vertreter der betroffenen Wirtschaftskreise und der Verbraucher rechtzeitig zu hören (§ 13 Abs. 3 S. 10).

2.1.4 Bestabgerechnete Effizienzwerte

Bezüglich der Festlegung der Effizienzwerte werden in der ARegV folgende Vorgaben gemacht:

- Der **maximale Effizienzwert** liegt gem. Anlage 3 ARegV bei 100 Prozent.
- Der **minimale Effizienzwert** liegt gem. § 12 Abs. 4 Satz 1 ARegV bei 60 Prozent.
- **Bestabgerechnete Effizienzwerte:** Es ist ein Best-of-four Verfahren im Sinne von § 12 Abs. 4a ARegV durchzuführen. D. h., es wird jeweils der höchste Effizienzwert aus den beiden Methoden DEA und SFA verwendet, wobei je Methode zusätzlich zu cTotexS auch eine Berechnung mit nicht standardisierten Aufwandsparametern (cTotexN) zu Grunde gelegt werden soll, ohne dabei die Vergleichsparameter zu ändern (Abs. 4a). Damit sind je NB vier Effizienzwerte zu berechnen bzw. für den Fall, dass die SFA nicht zur Anwendung kommen kann, zwei Effizienzwerte. Der jeweils beste Wert gilt, so er über dem Minimum von 60 Prozent liegt, als Grundlage für die Bestimmung der Erlösobergrenze.
- **Effizienzbonus:** Gem. §12a Abs. 6 ARegV findet der Effizienzbonus für FNB keine Anwendung.

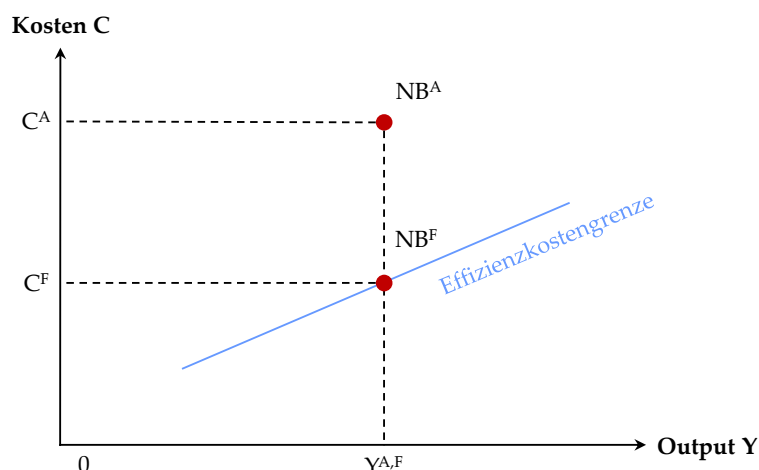
2.2 Ökonomische Grundlagen der Effizienzmessung

Kosteneffizienz ist gemäß der mikroökonomischen Theorie dann gegeben, wenn zur Bereitstellung der nachgefragten Outputs minimale Kosten eingesetzt werden.⁸

Zur Messung der Kosteneffizienz stehen verschiedene Konzepte zur Verfügung. Beim Konzept der Effizienzkostengrenze dienen die Kostenfunktionen der besten Unternehmen als Referenz für alle anderen Unternehmen. **Abbildung 2** stellt diesen Zusammenhang schematisch dar. NB^F ist für NB^A die Referenz („Best Practice“ bzw. „Peer“), indem es den gleichen Output Y zu geringeren Kosten C erbringen kann. Die blaue Linie stellt die Effizienzkostengrenze dar („Frontier“).

⁸ Hierzu müssen gleichzeitig minimale Inputmengen verwendet (technische Effizienz) und bei gegebenen Faktorpreisen die optimale Faktorkombination gewählt werden (allokative Effizienz).

Abbildung 2: Illustration Effizienzkostengrenze



Quelle: In Anlehnung an Filippini et al. (2011)

Es existieren verschiedene ökonomische Ansätze zur Ermittlung bzw. Schätzung von Effizienzkostengrenzen. Sie haben gemein, dass der Effizienzvergleich aufgrund der ökonomischen Größen Input und Output berechnet wird. Sie lassen sich grundsätzlich in zwei Klassen einteilen: Methoden der linearen Optimierung und ökonometrische Methoden. Die ARegV schreibt in Anlage 3 zu § 12 zur Ermittlung der Kosteneffizienz je eine lineare Optimierung und eine ökonometrische Schätzung vor: die DEA (Charnes et al. 1978) und die SFA (Aigner et al. 1977). Einführungen hierzu können in Bogetoft und Otto (2011) oder Bogetoft (2012) nachgelesen werden. In den folgenden beiden Kapiteln werden die wesentlichen Elemente beider Methoden näher beschrieben.

Eine SFA kann nachfolgend aufgrund der zu geringen Anzahl von Netzbetreibern im Effizienzvergleich nicht angewendet werden⁹, weshalb nur die DEA näher ausgeführt wird.

DEA – Data Envelopment Analysis

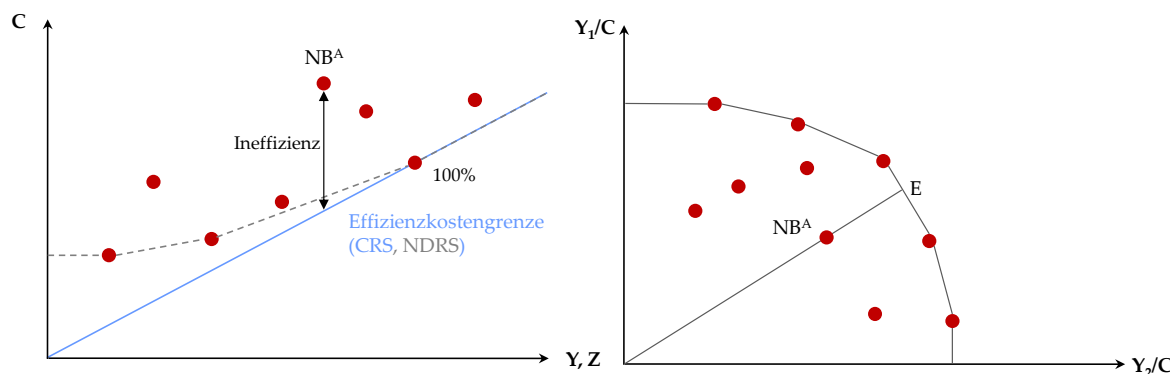
Bei den Methoden der linearen Optimierung werden Output und Input ins Verhältnis gesetzt, ohne a priori Annahmen über dieses Verhältnis – beispielsweise zur funktionalen Form – treffen zu müssen. Dabei wird die Effizienzgrenze nicht wie bei ökonometrischen Methoden geschätzt, sondern durch lineare Optimierung errechnet. Bei der DEA wird für jedes Unternehmen ein Quotient aus Inputs (im Kontext der Kosteneffizienz entsprechen Kosten den Inputs) und dem erbrachten Output¹⁰ berechnet unter der Nebenbedingung, dass der Effizienzwert zwischen null und eins liegt. Dabei sind alle Unternehmen, die bei diesem partiellen Input-Output Verhältnis den höchsten Wert erzielen, relativ effizient („Peers“) und erhalten einen Effizienzwert von 100 Prozent (vgl. **Abbildung 3, linke Seite**).

⁹ Details vgl. Abschnitt 5.5.1.1.

¹⁰ Im Rahmen des Effizienzvergleichs ist die Erfüllung der Versorgungsaufgabe – ggf. unter Berücksichtigung von Umweltfaktoren – die Output-Leistung.

Sie bilden die Eckpunkte der Effizienzkostengrenze, die durch lineare Kombinationen dieser relativ effizienten Unternehmen gebildet wird und somit alle restlichen, relativ ineffizienten Unternehmen mehrdimensional umhüllt. Die Kosteneffizienz eines Unternehmens wird durch den relativen Abstand zur Effizienzkostengrenze bestimmt (vgl. **Abbildung 3 rechte Seite**). NB^A ist demnach erkennbar ineffizient, weil er/sie nicht auf dem effizienten Rand liegt. Der Grad der Ineffizienz lässt sich graphisch durch den Quotienten der Strecke $\overline{NB^A E}$ und $\overline{OE}$ veranschaulichen.

Abbildung 3: Schematische Darstellung einer DEA



Quelle: In Anlehnung an Swiss Economics (2019)

Die DEA kann mit fallenden, konstanten, nicht fallenden oder variablen Skalenerträgen spezifiziert werden.¹¹ Die ARegV gibt vor, dass konstante Skalenerträge (CRS) zu unterstellen sind, dass also anzunehmen ist, dass eine Änderung der Output-Faktoren zu einer proportionalen Änderung der Kosten führt – etwa eine Verdopplung der Output-Faktoren eine Verdopplung der Kosten bewirkt. Produktivitätsunterschiede aufgrund unterschiedlicher Unternehmensgrößen werden somit nicht aus der Effizienzbewertung ausgeschlossen. Die graue, gestrichelte Umhüllende stellt eine DEA mit nicht fallenden Skalenerträgen dar („non decreasing returns to scale“, NDRS). Bei variablen Skalenerträgen wäre ebenfalls die grau gestrichelte Kurve zu verwenden und lediglich so anzupassen, dass auch der NB ganz rechts Teil der Kostengrenze wird, da hier die Umhüllende im Gegensatz zu NDRS auch stärker als die CRS-Gerade steigen darf.

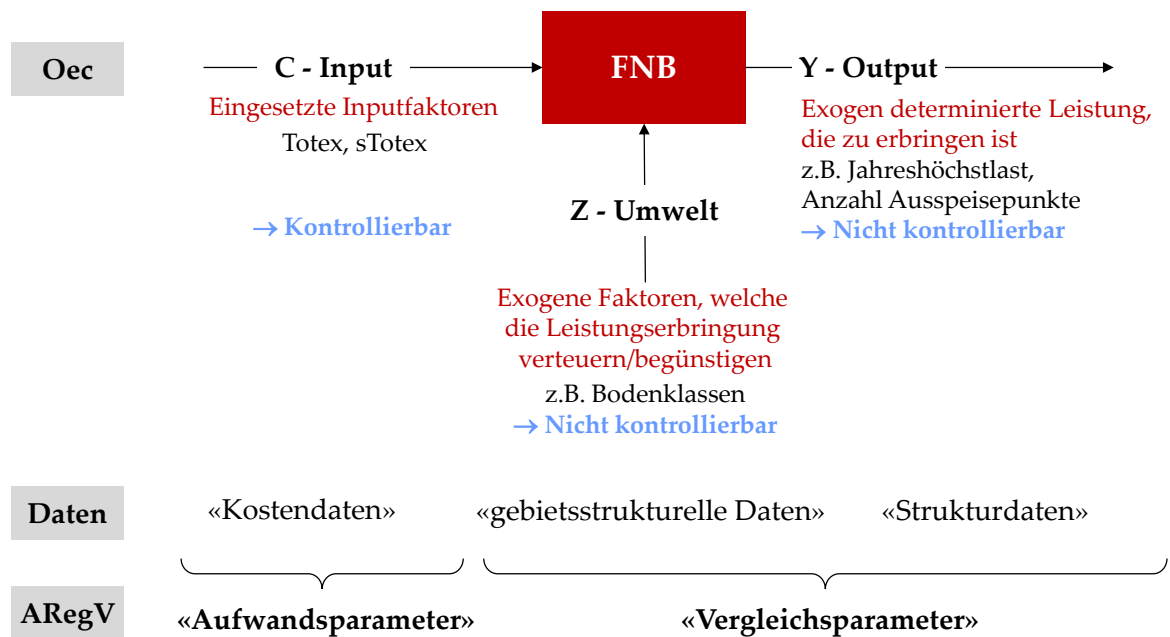
2.3 Zusammenfassung und Terminologie

Zusammenfassend werden beim Effizienzvergleich die Kosten C eines Netzbetreibers, also sein Aufwand bzw. Input, mit dessen Versorgungsaufgabe bzw. Output Y unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen Z verglichen, wie in **Abbildung 4** schematisch und idealtypisch dargestellt.

¹¹ Fallende Skalenerträge implizieren Größennachteile, konstante Skalenerträge Größenunabhängigkeit, nicht fallende Skalenerträge Größenunabhängigkeit oder Größenvorteile, und variable Skalenerträge Größenvor- oder Größennachteile.

Während die Inputs dadurch gekennzeichnet sind, dass sie durch den Netzbetreiber steuer- und beeinflussbar sind, sollen zur Beschreibung der Versorgungsaufgabe und der Rahmenbedingungen möglichst Parameter gewählt werden, die nicht direkt vom Netzbetreiber kontrolliert werden können. Ein solcher Vergleich zeigt, wie kosteneffizient die einzelnen NB im Vergleich zu den übrigen NB arbeiten: Die beiden zu verwendenden Methoden, DEA und ggf. SFA, berechnen bzw. schätzen den Zusammenhang zwischen C und Y unter Berücksichtigung von Z über alle NB. Was nicht mittels der verwendeten Vergleichsparameter – sprich Unterschiede in der Versorgungsaufgabe – erklärbar ist, wird ganz (DEA) oder teilweise (SFA) der Ineffizienz zugeschrieben.

Abbildung 4: Analyserahmen und Terminologie



Quelle: Eigene Darstellung

Die Parameter Y und Z werden in der ARegV zusammengefasst als „Vergleichsparameter“ bezeichnet.

Die zugehörigen Daten werden nachfolgend für Y-Parameter als Strukturdaten referenziert (grundsätzlich geliefert von den einzelnen Netzbetreibern) und für Z-Parameter als gebietsstrukturelle Daten (Grunddaten bereitgestellt durch die BNetzA). **Tabelle 2** fasst die gewählte Terminologie zusammen.

Tabelle 2: Terminologie der Parameter und Daten

Parameter, Variable	Daten (für jeden NB existiert je Parameter/Variable genau ein Wert, $i=1,\dots,I$, d. h. $(N+M+L)*i$ Werte)	Referenz ARegV
Input C $c^n, n=1,\dots,N$	„Kostendaten“, bei FNB durch BNetzA erhoben und geprüft	„Aufwands- parameter“
Output Y $y^m, m=1,\dots,M$	„Strukturdaten“, bei FNB durch BNetzA erhoben und geprüft	„Vergleichs- parameter“
Umwelt Z $z^l, l=1,\dots,L$	„Gebietsstrukturelle Daten“, ermittelt durch die BNetzA	

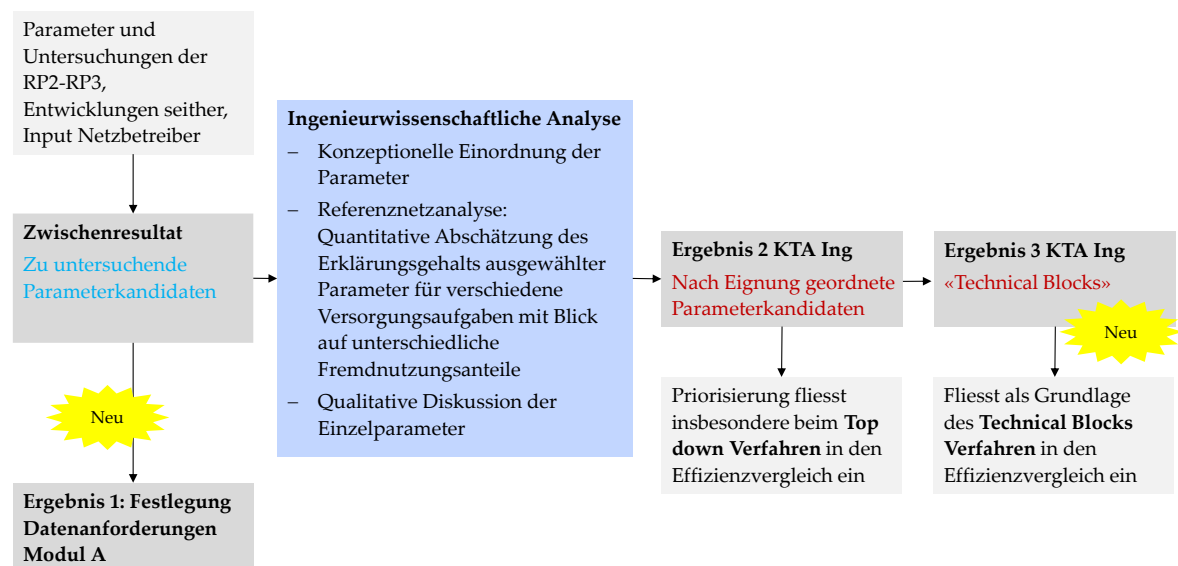
3 Ingenieurwissenschaftliche Kostentreiberanalyse (KTA Ing)

Gemäß § 13 Abs. 3 S. 7 ARegV hat die Auswahl der Vergleichsparameter mit qualitativen, analytischen oder statistischen Methoden zu erfolgen. Das nachfolgende Kapitel beschreibt in dem Zusammenhang die vorgängig zum eigentlichen Effizienzvergleich vorgenommene ingenieurwissenschaftliche Kostentreiberanalyse („KTA Ing“).

Abbildung 5 beschreibt das Vorgehen:

- In einem ersten Schritt wird ausgehend von den Parametern und Untersuchungen früherer Effizienzvergleiche, der weiteren gaswirtschaftlichen Entwicklungen, weitergehender Überlegungen und Input der Netzbetreiber eine Liste von zu untersuchenden Parametern hergeleitet.
- Diese Parameter werden im Rahmen der eigentlichen KTA Ing zuerst konzeptionell eingeordnet. Ausgewählte Parameter werden anschließend zum besseren Verständnis ihrer Wirkungsweise mit Blick auf Fremdnutzungsanteile quantitativ auf ihre Kostenwirkung im Rahmen einer Referenznetzanalyse (RNA) beurteilt. In einem weiteren Schritt werden die Parameter ausführlich qualitativ diskutiert.
- Resultat der Arbeiten ist eine nach KTA-Eignung geordnete Liste von Vergleichsparametern für die weitere Verwendung im Effizienzvergleich sowie eine Liste geeigneter „Technical Blocks“ im Sinne von technisch sinnvollen Kombinationen.

Abbildung 5: Vorgehen ingenieurwissenschaftliche Kostentreiberanalyse



Quelle: Eigene Darstellung

3.1 Herleitung der zu untersuchenden Parameter

3.1.1 Ergebnisse früherer Regulierungsperioden

Zweite Regulierungsperiode¹²

CONSENTEC führte in 2012 eine KTA Ing durch und untersuchte folgende Einzelparameter:

- Netzlast Real (maximale Ein- und Ausspeisemengen)
- Netzlast Kapazität (maximale Kapazität Entry-/Exit)
- Transportentfernung (minimale/mittlere Leitungslänge zur Versorgung der Abnehmer)
- Anschlussdichte (Anzahl und Dichte der Versorgungsanschlüsse)
- Druckdifferenz (mittlere Druckdifferenz zwischen Ein- und Ausspeisepunkten)
- Druckniveau (mittleres Druckniveau der Teilnetze)
- Netzfläche (Fläche des Teilnetzgebietes)
- Rohrleitungsvolumen (Geometrisches Volumen des Netzes)
- Rohrmantelfläche (Rohrinnenoberfläche des Netzes)
- Leitungsdurchmesser

Darüber hinaus wurden als aggregierte Parameter untersucht:

- Transportmoment (TM)
- Transportmomentfläche

Zunächst unterteilte CONSENTEC die Versorgungsaufgabe in drei Dimensionen und untersuchte die Einzelparameter und die aggregierten Parameter mit Hilfe qualitativer Überlegungen und einer Referenznetzanalyse auf ihre Eignung als Kostentreiber. **Tabelle 3** gibt das Ergebnis dieser Untersuchung wieder. Als Versorgungsdimensionen definierte CONSENTEC:

- Deckung der Netzlast bzw. Bereitstellung der nachgefragten Kapazität
- Erforderliche Netzausdehnung bzw. Transportentfernung
- Granularität.

¹² Gestützt auf Kapitel 4.1.1 im EFG3 (Swiss Economics 2018).

Tabelle 3: Bewertung der Kostentreiber in der KTA Ing der RP2

Klassifizierung	Vergleichsparameter	
Geeignete Parameter	Transportentfernung	Netzlast
	Netzfläche (Polygonfläche)	Anzahl der Anschlusspunkte
	Transportmoment	Transportmomentfläche
Sekundär geeignete Parameter	Druckdifferenz mengengewichtet	Druckniveau mengengewichtet
Eher ungeeignete Parameter	Rohrvolumen	Rohrleitungsmantelfläche

Quelle: gemäß CONSENTEC (2012)

Die Ergebnisse der KTA Ing flossen danach in den Effizienzvergleich der RP2 ein, der von Frontier Economics und CONSENTEC unter Beizug der TU Clausthal durchgeführt wurde (Frontier et al., 2013). Die Auswahl der letztlich verwendeten Vergleichsparameter erfolgte auf Basis der Ergebnisse der KTA Ing nachfolgenden Entscheidungskriterien:

- Abdeckung der Versorgungsaufgabe;
- Ingenieurwissenschaftliche Plausibilität;
- Bandbreite der Effizienzwerte (möglichst schmal) und Anzahl an Ausreißern (möglichst gering).

Tabelle 4 zeigt den im Effizienzvergleich gewählten Parametersatz, in dem auch aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht weniger geeignete Parameter aufgrund der in einer Gesamtschau besseren Erfüllung der gewählten Entscheidungskriterien zum Zuge kamen.

Tabelle 4: In der RP2 letztlich gewählte Parameter

Dimension der Versorgungsaufgabe	Vergleichsparameter
Kapazitätsbereitstellung/Gastransport	Rohrvolumen
Netzausdehnung	Polygonfläche
Granularität	Korrigierte Anzahl der Ein- und Ausspeisepunkte

Quelle: Eigene Darstellung

Dritte Regulierungsperiode

Die Datenabfrage RP3 ist im Vergleich zur RP2 an verschiedenen Stellen ausführlicher ausgefallen. Dadurch konnten neue bzw. angepasste Vergleichsparameter gebildet werden:

- Druckparameter mittlerer Eingangsdruck, Ausgangsdruck, Druckdifferenz und Druckniveau mit Q_{max} oder Q_{jahr} als Gewichtungsfaktor der minimalen Druckangabe des Netzbetreibers (P_{min}) sowie auf Grundlage des mengengewichteten Betriebsdrucks;
- Verdichterparameter (Anzahl, Leistung, Treibenergie);
- Horizontaler und vertikaler Transportanteil und Jahresarbeit;
- Netzcharakteristiken (Anzahl Maschen, Anzahl Verzweigungen);
- Gebietseigenschaften (Bodenklassen, Grabbarkeit, Hangneigung, Höhendifferenz);
- Transportmoment auch auf Basis der im gesamten Jahr transportierten Arbeit, zusätzlich gebildet mit realen Distanzen bzw. Leitungstrassen;

- Transportwurzelmoment.

Auf der anderen Seite sind folgende Parameter aus der RP2 nicht mehr abgefragt worden:

- Netzparameter für verschiedene Lastsituationen.

Die Gutachter (Swiss Economics und SUMICSID mit 4Management) unterteilten ebenfalls zunächst die Versorgungsaufgabe in drei Versorgungsdimensionen und untersuchten Einzelparameter sowie aggregierte Parameter mit Hilfe qualitativer Überlegungen und einer Referenznetzanalyse auf ihre Eignung als Kostentreiber. Gestützt auf internationale Benchmarks (z. B. e2GAS) und die deutschen Effizienzvergleiche im Strom (EVS1, EVS2) wurden folgende grundlegenden Versorgungsdimensionen gewählt:

- Transport («Arbeit», «Betrieb»)
- Kapazitätsbereitstellung («Leistung», «Vorhaltung»)
- Dienstleistungsbereitstellung («Anschluss» der Kunden ans Netz).

Tabelle 5 gibt das Ergebnis der Gutachter wieder.

Tabelle 5: Bewertung der Kostentreiber in der KTA Ing der RP3

Gute Eignung	Komplementäre Eignung	Partielle Eignung
Stärker Exogen		
Transportwurzelmoment	Gebietseigenschaften	Transportmoment
		Mittlere Transportentfernung
	Last	Jahresarbeit
	Ausspeisepunkte	Einspeisepunkte
	Ein- und Ausspeisepunkte	Druck
	Verzweigungen	Horizontaler Transport
Stärker Endogen		
Rohrleitungsmantelfläche	Leitungslänge, Rohrleitungsvolumen	
	Verdichter (Leistung, Energie)	Verdichter (Anzahl)
	Polygonfläche	(Wurzel) Transportmomentfläche
	Maschen	

Quelle: EFG3

Die Ergebnisse der KTA Ing flossen danach in den Effizienzvergleich der RP3 ein, der von Swiss Economics unter Beizug von SUMICSID durchgeführt wurde. Die Auswahl der letztlich verwendeten Vergleichsparameter erfolgte auf Basis der Ergebnisse der KTA Ing aufgrund verschiedener konzeptioneller, regulatorischer und statistischer Kriterien. Teil der konzeptionellen Kriterien war die ingenieurwissenschaftliche Plausibilität.

Nachfolgend ist der im Effizienzvergleich gewählte Parametersatz aufgeführt, in dem erneut aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht weniger geeignete Parameter aufgrund der in einer Gesamtschau besseren Erfüllung der gewählten Entscheidungskriterien zum Zuge kamen. In RP3 wurde im Vergleich zu den vorangegangenen Regulierungsperioden mit der Verdichterleistung ein vierter Vergleichsparameter zum Modell ergänzt:

- Rohrvolumen;
- Polygonfläche (yArea_all)¹³;
- Anzahl der Anschluss- und Netzkoppelungspunkte;
- Verdichterleistung.

3.1.2 Einordnung der gaswirtschaftliche Entwicklungen seit der RP3

Mit Blick auf die relevanten gaswirtschaftlichen Entwicklungen hat sich seit dem letzten Effizienzvergleich der Rahmen für die Fernleitungsnetzbetreiber in einigen Punkten verändert. Nachfolgend werden Mengenänderungen, regulatorische Entwicklungen und Umstrukturierungen in der Netzwirtschaft unterschieden.

Änderungen der Gasflüsse

- **Quellendiversifizierung:** Obwohl als ein zentrales Ziel durch die EU im Jahr 2014¹⁴ erklärt, fehlte bislang eine entsprechende nationale Umsetzung in Deutschland. Die Errichtung mobiler Terminals für Flüssigerdgas (LNG) erfolgte erst ab dem Jahr 2022. Ebenfalls nach dem Basisjahr offenbarten sich in den Gasfernleitungsnetzen die Folgen der Energiekrise mit teils stark geänderten Mengen und Flüssen.
- **Energiewende:** Der in Deutschland angestrebte Verzicht von Erdgas ab 2045 hat im Basisjahr noch keine Auswirkungen auf den Betrieb der Gasnetze. Ebenso waren im Basisjahr noch keine nennenswerten Auswirkungen einer zukünftig geplanten Umwidmung von Gasnetzen bzw. dem Aufbau von neuen Wasserstoffnetzen oder vorzeitigen Außerbetriebnahmen zu erkennen.
- **Pandemie:** Im Basisjahr 2020 kam es aufgrund konjunkturbedingter Gasabsatzänderungen durch die Covid-19-Pandemie zu einem verminderten Transport von Erdgas. Dieser war dabei deutschlandweit zu beobachten.

Im Effizienzvergleich erfolgt eine **Basisjahrbetrachtung**, d. h. es werden Kosten des Basisjahrs 2020 mit den damit verbundenen Versorgungsaufgaben gegenübergestellt und es soll eine Aussage darüber getroffen werden, wie effizient die einzelnen Netzbetreiber im Basisjahr waren. Insofern sind alle Entwicklungen, die die nachfolgenden Jahre betreffen, für den vorliegenden Effizienzvergleich irrelevant bzw. müssen, so sie in der Erlösbergrenze doch berücksichtigt werden sollen, auf anderem Weg Eingang finden. **Für das Basisjahr selbst liegen alle relevanten Daten und Vergleichsparameter vor**, indem die verbauten Infrastrukturen (insb. Rohrleitungen, Verdichter, Regler, Anschlüsse) granular vorliegen wie auch die zu leistenden Versorgungsaufgaben (Arbeit und Leistung an den im Basisjahr bedienten Ein- und Ausspeisepunkten). Vergleichsparameter, welche direkt die verbauten

¹³ Obwohl konzeptionell weniger geeignet, Vorzug von yArea_all gegenüber yArea aufgrund des Vorsichtsprinzips (höhere Effizienzwerte, Forderung der Netzbetreiber), vgl. Ausführungen hierzu im Gutachten EFG3 Abschnitt 5.5.4 Detailspezifikation.

¹⁴ COM/2014/0330 final.

Infrastrukturen abbilden, können als inputorientiert, während diejenigen, welche die zu leistende Versorgungsaufgabe direkt beschreiben, als outputorientiert bezeichnet werden (vgl. auch Ausführungen hierzu in Abschnitt 3.2.3). Letztere Parameter wurden von den Netzbetreibern im Rahmen der Konsultation als „dynamische Parameter“ bezeichnet.

Gleichzeitig besteht ein Interesse, die verwendeten Effizienzvergleichsmodelle über die Zeit hinweg nicht zu stark zu ändern, sofern diese die Versorgungsaufgabe weiterhin gut beschreiben können. In den deutschen Fernleitungsnetzen kam es zwischen der RP3 und RP4 zu strukturellen Veränderungen insbesondere durch Leitungsbau. Die europäische Gas-Anbindungsleitung EUGAL sei hier exemplarisch genannt. Die Umwandlung der bisherigen L-Gasnetze (low calorific gas) in reine H-Gasnetze (high calorific gas) schreitet weiter voran und soll planmäßig im Jahr 2029 abgeschlossen sein. Solche strukturellen Anpassungen zeigen sich grundsätzlich sowohl in input- als auch outputorientierten Vergleichsparametern. Gleichwohl stellt sich die Frage, inwieweit Modelle mit dynamischen Parametern den Entwicklungspfad der Netze auch künftig abzubilden vermögen. Diese Frage wird sich jedoch vor allem im nächsten Effizienzvergleich stellen und steht vorliegend nicht im Zentrum, da eine Basisjahrbetrachtung des Jahres 2020 erfolgt. Nichtsdestotrotz werden die Entwicklungen nach 2020 nachfolgend in der qualitativen Einschätzung der Eignung von Vergleichsparametern mitberücksichtigt.

Regulatorische Entwicklungen

Folgende regulatorischen Entwicklungen lassen sich ausmachen:

- Marktseitig ist gemäß Gasnetzzugangs-Verordnung zum 1. Oktober 2021, also erst nach dem Basisjahr 2020, die **Marktgebietszusammenlegung** der beiden deutschen Marktgebiete *GASPOOL* und *Net Connect Germany (NCG)* zum *Trading Hub Europe* erfolgt.
- Des Weiteren wurden den Fernleitungsnetzbetreibern seit der RP3 unter anderem mit den Festlegungen **BEATE 2.0** (BK9-18-608) und dem Änderungsbeschluss (BK9-20-608) mit Wirkung für 2021 sowie insbesondere der Festlegung **REGENT 2020** (BK9-18-610-NCG und 611-GP) mit Geltung ab 01.01.2020 und der Folgefestlegung **REGENT 2021** (BK9-19/610) mit Geltung ab 01.10.2021 (Abweichung vom im NC-TAR vorgesehenen Fünf-Jahres-Intervall wegen Marktgebietszusammenlegung) neue Rahmenbedingungen zur Preisbildung der deutschen Ferngasnetzbetreiber gesetzt. Mit der nationalen Umsetzung der Verordnung (EU) 2017/460 (Netzkodex über harmonisierte Fernleitungsentgeltstrukturen) sollen distanzunabhängige Ein- und Ausspeiseentgelte (sogenannte einheitliche Briefmarkenentgelte) je Marktgebiet erhoben werden. Dadurch bleibt nach Aussage einiger FNB jedoch die Heterogenität der Gastransportnetze und potentiell resultierende Kostenunterschiede zwischen systeminterner und systemübergreifender Netznutzung unberücksichtigt. Ein Ausgleich der Erlöse zwischen den FNB wurde durch die Festlegung **AMELIE 2020** (BK9-18/607) und der Folgefestlegung **AMELIE 2021** (BK9-19-607, Neufestlegung wegen Marktgebietszusammenlegung, Geltung ab 01.10.2021) der BNetzA umgesetzt. Weiterhin wurde mit der Festlegung **MARGIT 2020**

(BK9-18/612) und den Folgefestlegungen (jährliche Konsultierung und Festlegung) Entscheidungen im Wesentlichen zu Preisaufschlägen - sogenannten Multiplikatoren - für unterjährige Kapazitätsprodukte, Rabatten für unterbrechbare Kapazitäten und Abschlägen für LNG-Einspeisepunkten aus LNG-Terminals getroffen.

- Weiter sollten durch die EU-Verordnung 2017/459 (Netzkodex über Mechanismen für die Kapazitätszuweisung in Fernleitungsnetzen) physische Kopplungspunkte, die dieselben benachbarten Marktgebiete miteinander verbinden, zu einem **virtuellen Kopplungspunkt** (Virtual Interconnection Point, VIP) zusammengefasst werden. Dies hatte dabei in erster Linie Auswirkungen auf die Kapazitätsbuchung, insbesondere aber auch bei der Kapazitätsausweisung und der Nutzung der Kapazitäten und war bis auf die Bildung mit den Kopplungspunkten von und zu den Niederlanden, die sich verzögert hatte und entgegen der gesetzlichen Verpflichtung erst verspätet zum 01.04.2020 realisiert wurde, schon vor dem Basisjahr umgesetzt. Nach der innerdeutschen Marktgebietszusammenlegung zum 01.10.2021 wurden dann an den Landesgrenzen Belgien/Luxemburg, Niederlanden und Tschechien die ehemals getrennten VIP GASPOOL bzw. NCG ebenfalls zusammengeführt. Zur Ermittlung von Strukturparametern, mit denen Nutzungen abgebildet werden sollen, existieren für virtuelle Kopplungspunkte i. d. R. keine netzbetreiber- oder punktspezifischen Daten, da allein die Vermarktung (und nicht die Nutzung) über den VIP abgewickelt wird. Es werden insbesondere deshalb im Rahmen der Datenerhebung für die Strukturparameter der FNB für die vierte Regulierungsperiode gezielt ausschließlich die Daten an den weiterhin bestehenden physischen Punkten netzbetreiberscharf abgefragt.

Die Marktgebietszusammenlegung ist erst nach dem Basisjahr relevant, insofern muss dies vorliegend nicht speziell beachtet werden. Gasqualitäten werden jedoch schon heute unterschieden gemäß den diesbezüglichen Angaben der FNB (bei unterjährigen Umstellungen sind die entsprechenden Assets doppelt geführt in beiden Gasqualitäten mit entsprechender Markierung, vgl. A.1.2). Ein FNB war mit einem Leitungsabschnitt sowohl im NCG- als auch im GASPOOL-Marktgebiet tätig. Dabei wird das GASPOOL-Stück als eigenes Teilnetz geführt.

Umstrukturierungen in der Netzwirtschaft / Heterogenität

Seit der Datenerhebung für den Effizienzvergleich zur RP3 haben sich Änderungen auf Seiten der FNB ergeben. Der FNB Jordgas ist in den beiden bestehenden FNB Gasunie und Open Grid Europe (OGE) aufgegangen. Zudem erfolgte die Gründung eines neuen Fernleitungsnetzbetreibers, der Ferngas Netzgesellschaft mbH. Die Ferngas stellt einen Kombinationsnetzbetreiber dar und betreibt damit sowohl ein Fernleitungs- als auch ein Verteilnetz. Im Rahmen des Effizienzvergleichs der FNB wird dabei nur das Fernleitungsnetz betrachtet.

Ebenso haben die FNB während der RP3 verschiedene neue Leitungen errichtet. Bereits in der RP3 konnten dabei jedoch unterschiedliche Versorgungsaufgaben mit dem bestehenden Parameterset gut abgebildet werden, welches sowohl das verbaute Anlagengerüst als

auch die verarbeiteten Mengen abbilden. Es ist trotz der Entwicklungen bei den FNB nicht ersichtlich, dass Versorgungsaufgaben neu hinzukommen oder derart geändert haben, dass der Heterogenität nicht mehr gerecht werden kann. Dies untermauern auch die nachfolgenden Analysen ab Kapitel 4.

Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Wirkungen der gaswirtschaftlichen Entwicklung grundsätzlich in den Vergleichsparametern der RP3 abbildbar sind. Ausgewählte Weiterentwicklungen erscheinen aber durchaus wünschens- und untersuchungswert. Diese werden daher im nachfolgenden Abschnitt ausgeführt.

3.1.3 Neue Parameterbildungen

Die Änderungen in der Datenabfrage und bei den gebildeten Vergleichsparametern werden nachfolgend dargestellt.

Änderungen in der Datenabfrage der RP4

Im Vergleich zu RP3 wird in RP4 die Datenabfrage geschärft sowie in der Vergangenheit nicht genutzte und für RP4 als nicht erforderlich eingestufte Daten nicht mehr abgefragt. Als Beispiele seien folgende Angaben genannt:

- Differenzierung zwischen Verdichtern und Druckreglern mit Schärfung der Definition von Verdichterleistung und separater Abfrage von Druckreglern;
- Stützpunkte zur genaueren Abbildung des Leitungsverlauf oder alternativ die Lieferung einer Leitungskarte;
- Anschlusspunkte:
 - Differenzierung „benachbarter Netzbetreiber“ bei Abfrage Netzkoppelungs- und Netzanschlusspunkten (NKP/NAP) nach „benachbartem FNB“ und „nachgelagertem VNB“;
 - Keine Abfrage von marktbezogenen Daten (Kapazitätsprodukte);
 - Neu Abfrage der Last zum Zeitpunkt der Gesamt-Jahreshöchstlast („Qsim“, ergänzend zu der bisher abgefragten Höchstlast und Arbeit eines Punkts im Jahr „Qmax“ bzw. „Qjahr“);
 - Kennzeichnung einzelner Netzknoten als „Komplettierende Punkte“.
- Bei Bruchteilsgemeinschaften (BTG) wird die Asset-Partner ID abgefragt;
- Konvertierungsanlagen zusammen mit den Gasmischstationen mit Anzahl und Durchflusskapazität;
- Keine Abfrage historischer Daten.

Die erweiterten Daten ermöglichen damit die Bildung neuer bzw. angepasster Vergleichsparameter.

Neue Parameter in RP4 - Übersicht

Als ein Ergebnis der KTA Ing werden folgende Parameter neu gebildet und zur Berücksichtigung im Effizienzvergleich geprüft:

- Druckregler (Anzahl, Nenndurchfluss);
- Polygonfläche basierend auf ausgewählten Exit-Punkten („vertikale Fläche“);
- Weiterentwicklung des Transportwurzelmoments („TWM2“);
- Transportmoment und Transportwurzelmoment auch gebildet mit Qsim.

Im Folgenden wird die Motivation für die Bildung der neuen Parameter kurz vorgestellt. Eine umfangreiche Analyse folgt in der qualitativen Diskussion der Parameter in Abschnitt 3.4.

Druckregler

Durch die Differenzierung zwischen Verdichtern und Druckreglern in der Datenabfrage ist die Bildung entsprechender Parameter zu Anzahl und Nenndurchfluss möglich. Damit wird die Abbildung des Mengengerüsts der FNB weiter vervollständigt. Nicht nur die Kosten der Betriebsmittel selbst, sondern auch die Versorgungsaufgabe im Allgemeinen, bspw. analog zur Anzahl der Anschlusspunkte, können durch diese Parameter potenziell besser beschrieben werden.

Vertikale Fläche

Bereits in der RP3 wurden die Schwächen des Parameters Polygonfläche diskutiert. Aus diesem Grund soll der Parameter Polygonfläche weiterentwickelt werden. Die Ausdehnung des Netzes nimmt zwar Einfluss auf die notwendigen Leitungslängen und damit auf die Kosten, es kommt aber insbesondere bei wenigen Punkten schnell zu räumlichen Verzerrungen (z. B. „Bananeneffekt“¹⁵). Da der Parameter vor allem die Kosten der in die Fläche verteilenden FNB beschreiben soll, wird der Parameter in einer Variante ausschließlich mit den vertikalen Exit-Punkten gebildet.

Transportwurzelmoment 2 (TWM2)

Zudem erfolgt die Weiterentwicklung des in RP3 eingeführten Transportwurzelmoments, das selbst eine Weiterentwicklung des Transportmoments darstellt. Das Transportwurzelmoment 2 soll sachgerechter mit Schiefständen zwischen gemeldeten Entry- und Exit Leistungen umgehen. In einem separaten **Anhang C** hierzu wird das Transportwurzelmoment 2 detailliert motiviert und vorgestellt.

¹⁵ Der Bananeneffekt beschreibt den Umstand, dass die Polygonfläche einer einzelnen Leitung bei gerader Leitungsverbindung bei „Null“ liegt, bei stärkerer Krümmung aber höhere Werte einnimmt, ohne dass sich die Transportaufgabe in ähnlichem Umfang ändern würde.

Transportmoment und Transportwurzelmoment neu gebildet mit zeitgleicher Last

Die neu abgefragten zeitgleichen Höchstlasten an den Ein- und Ausspeisepunkten (Qsim) ermöglichen es, Transportmoment und Transportwurzelmoment neu auch auf der Grundlage dieser Qsim-Mengen zu bilden.

3.1.4 Gestrichene Parameter in RP4

Auf der anderen Seite werden einige Parameter aus der RP3 nicht mehr gebildet. Dazu zählen:

- Druckparameter;
- Horizontaler/vertikaler Transportanteil;
- Mittlere Transportdistanz;
- Gebietseigenschaften: Höhendifferenz;
- Transportmomentfläche.

Die genannten Parameter stellen Parameter dar, die in ihrem Wertebereich nicht skalierbar und daher für den Effizienzvergleich schwer operationalisierbar sind. Dazu zählen Anteile, aber auch durchschnittliche Drücke, die Höhendifferenz und die mittlere Transportdistanz, die in ihrem Wertebereich eingeschränkt sind und so keine geeignete Korrelation zu den Kosten unterschiedlich großer Fernleitungsnetzbetreiber bilden können.

Die Transportmomentfläche wird aufgrund ihrer schwierigen Interpretierbarkeit nicht mehr berücksichtigt.

3.1.5 Parametervorschläge der Netzbetreiber und der Branche

Die Netzbetreiber hatten an verschiedenen Stellen die Möglichkeit, eigene Parametervorschläge einzubringen (vgl. Abschnitt 1.3.2). Folgende Vorschläge auch von Nicht-FNB gingen ein, die nachfolgend ausgeführt werden:

- Benutzungsstunden;
- Bereinigte Jahreshöchstlast;
- Höhe der internen Bestellungen;
- Alternative Berechnung der Rohrmantelfläche.

Parametervorschlag Benutzungsstunden der Initiative Erdgasspeicher e.V.

Die Initiative Erdgasspeicher e.V. (INES) schlug Ende 2020 den Parameter „Benutzungsstunden“ vor, der sich als Quotient aus der Summe aller Ausspeisungen über das Jahr und der Summe aller zeitgleichen Jahreshöchstlasten der Ausspeisungen berechnet. In der Grundvariante hat der Parameter damit einen Wertebereich zwischen 0 und 8760 h (in Schaltjahren 8784 h). Da der Parameter lediglich relativen Charakter besitzt (nicht mit der energiewirtschaftlichen Gesamtleistung des jeweils betrachteten Netzes skaliert), wird vor-

geschlagen, diesen Parameter mit dem Transportwurzelmoment zu skalieren. Die Berechnungen von INES zeigen eine sehr gute Performance eines Parametersets bestehend aus den Benutzungsstunden (skaliert mit Transportwurzelmoment) gemeinsam mit den Parametern Polygonfläche und Ein-/Ausspeisepunkte.

Motiviert wird der skalierte Benutzungsstunden-Parameter mit der Überlegung, eine bessere Auslastung des Netzes anzureizen. Die Vergleichsparameter aus RP3 motivierten dagegen dazu, Leistungsspitzen durch Verstärkung des eigenen Mengengerüsts an Leitungen und Verdichtern zu versorgen und die Leistungsspitzen nicht stattdessen mit Gasspeicherkapazitäten zu glätten. Der Parameter sei laut INES vollständig exogen bestimmt.

Der Parameter „Benutzungsstunden“ wird nachfolgend aus Sicht des Gutachters bewertet:

- Grundsätzlich ist zu vermuten, dass ein FNB mit angebundenen Speichern für eine gegebene Transportaufgabe weniger Leitungsquerschnitt benötigt als ein Netzbetreiber ohne diese Option.
- Aber: Netze mit hohen und niedrigen Benutzungsstunden sind (bei jeweils gleicher Leistungsspitze - ansonsten ceteris paribus) nicht allein deshalb unterschiedlich effizient. Benutzungsstunden selbst sind nicht auslegungsrelevant, denn Netze müssen vorrangig auf die Spitzenlast ausgelegt werden, was entsprechende Kosten nach sich zieht.
- Die sehr gute Performance des Parameters Benutzungsstunden rührt aus Sicht des Gutachters nicht primär aus dem Benutzungsstunden selbst, sondern aus der Normierung mit dem Parameter Transportwurzelmoment. In anderen Worten, der beschriebene Parameter ist viel mehr das Transportwurzelmoment gewichtet mit den Benutzungsstunden und eine vergleichbare Performance würde auch ohne Gewichtung mit den Benutzungsstunden resultieren.
- Der Parameter „Benutzungsstunden“ ist wie INES beschreibt weitestgehend exogen. Netzbetreiber können den überwiegenden Teil der Erdgasspeicher (welche durch INES vertreten werden) nicht selbst zum Glätten ihrer Netzauslastung einsetzen. Netzinterne Speicher, die durch Netzbetreiber betrieben werden, stellen eine Seltenheit dar und sind in den Aufwandsparametern des betroffenen Netzbetreibers enthalten. Damit folgt, dass Netzbetreiber in ihrer Netzauslegung nicht aktiv den Trade-Off zwischen Speichernutzung und Verstärkung des Mengengerüsts treffen können. Der Einsatz des Speichers ist damit neben der Ein- und Ausspeisesituation an anderen Entry/Exits Teil der Versorgungsaufgabe.
- Auch das Transportwurzelmoment ist entgegen der Beschreibung von INES exogen. Die Beschreibung von INES zum Transportwurzelmoment kommen eher den Parametern des Rohrvolumens bzw. der Mantelfläche gleich. Ein endogener Parameter kann nicht durch Multiplikation mit einem exogenen Parameter selbst exogen werden.
- Bei der Normierung mit dem Transportwurzelmoment berechnet auf Basis der Jahreshöchstlast (Leistung) würde näherungsweise ein Parameter resultieren, der dem Trans-

portwurzelmoment gebildet mit der Jahresarbeit¹⁶ entspricht. Bei Multiplikation der Jahreshöchstlast eines Exit-Punktes mit seinen Benutzungsstunden resultiert nämlich die Jahresarbeit. Der Unterschied beider Parameter liegt nur darin, dass beim Transportwurzelmoment (mit Jahresarbeit) bei jedem Punkt implizit eine individuelle Benutzungsstundenzahl zur Gewichtung genutzt wird, während die Variante das Transportwurzelmoment (Jahreshöchstlast) normiert mit den Benutzungsstundenparameter von INES einer pauschalen Gewichtung der durchschnittlichen Benutzungsstunden entspricht. Diese Überlegungen zeigen auch, dass eine Normierung des Transportwurzelmoments (Jahresarbeit) mit den Benutzungsstunden einer Doppelberücksichtigung der Auslastung des Systems bedeutet und daher nicht zielführend ist.

- Eine Alternative Skalierung des Parameters „Benutzungsstunden“ mit Parametern des Mengengerüsts (Leitungslänge, Rohrvolumen) sollte ebenfalls nicht erfolgen, da kein direkter Zusammenhang zwischen den Benutzungsstunden der Ein-/AusspieSEPunkte und der tatsächlichen Auslastung des Netzes (Pipelines / Verdichter) besteht. Das Mengengerüst würde unabhängig von ihrer tatsächlichen Auslastung skaliert werden.
- Netzbetreiber, in deren Netzgebiet keine Erdgasspeicher, z. B. aufgrund von geologischen Gegebenheiten, existieren, können durch den Parameter benachteiligt werden, weil die Option der Steuerbarkeit durch Speicher entfällt.
- Der Effekt von Speichern auf die Transportaufgabe des FNB hängt stark von der Position des Speichers im Netz ab und kann pauschal nur ungenau über eine durchschnittliche Auslastung im Netz beziffert werden (siehe Ausführungen zum Parameter „Bereinigte Jahreshöchstlast“).
- Netzbetreiber mit einem hohen Anteil an Gebäudewärmeversorgung in der Transportaufgabe können gegenüber Netzbetreibern mit einem hohen Anteil industrieller Kunden benachteiligt werden, da Erstere v. a. im Winter Gas beziehen und so zu einer tieferen Auslastung der Rohrleitungen im Sommer führen mit entsprechend tieferen Benutzungsstunden.

Fazit: Aus Sicht des Gutachters ist der Parameter «Benutzungsstunden» kein besserer Vergleichsparameter als die bereits in RP3 gebildeten Parameter. Der Umgang mit Speichern wird bei der Berechnung des Transportwurzelmoments überprüft. Zudem wird das TWM zusätzlich mit Arbeit gebildet und im Rahmen der Modellentwicklung getestet.

Parametervorschlag Speicher-bereinigte Jahreshöchstlast der terranets bw GmbH (terranets)

Der FNB terranets schlug als Reaktion auf den Parametervorschlag von INES vor, bei der Bestimmung der Benutzungsstunden den Zwischenparameter „Speicher-bereinigte Jahres-

¹⁶ Die Jahresarbeit kann aufgrund des proportionalen Zusammenhangs auch als durchschnittliche Leistung über das Jahr interpretiert werden.

höchstlast“ anstelle einer unbereinigten Jahreshöchstlast zu verwenden. Der Zwischenparameter berechnet sich aus der Differenz der zeitgleichen Jahreshöchstlast und der maximalen Ausspeicherleistung der angeschlossenen Speicher. Der Zwischenparameter wird – wie von INES intendiert – durch einen potentiell reduzierten Leitungsbau aufgrund Speichereinsatz zur Reduktion bzw. Glättung der Spitzenlast motiviert.

Nachfolgend wird die Einschätzung des Gutachters für diesen Parameter dargelegt:

- Grundsätzlich gilt – ebenso wie beim Vorschlag von INES – die Vermutung, dass ein FNB mit angebundenen Speichern für eine gegebene Transportaufgabe weniger Leitungsquerschnitt benötigt als ein Netzbetreiber ohne diese Option. Der vorgeschlagene Zwischenparameter bildet deshalb den ggü. dem INES-Vorschlag zusätzlichen Schritt ab, den bei der Bestimmung der Benutzungsstunden anzusetzenden Leistungswert (Summe der Ausspeisungen) um die maximale Ausspeiseleistung der Speicher zu reduzieren. Berechnet man jedoch die unbereinigten Benutzungsstunden, sind diese bei Abwesenheit von Speichern höher und das zugehörige Netz erscheint effizienter als ein Netz mit Speichern.
- Zunächst ist die «maximale Ausspeicherleistung» genauer zu definieren: Ist eine ausleungsbezogene Größe des Speichers gemeint, gäbe es das Problem, dass der Speicher theoretisch größer als im Netz benötigt ausgelegt sein kann oder z. B. füllstandsbedingt gar nicht zur Zeit der Jahreshöchstlast zur Verfügung steht. Ist dagegen analog zur Jahreshöchstlast eine Jahreshöchstausspeisung gemeint, müsste dieser Wert zeitgleich zur Jahreshöchstlast gebildet werden, um nicht die Wirkung der Speicher zu überschätzen.
- Selbst bei Nutzung der zeitgleichen Jahreshöchstausspeisung geht dieser Parameter von idealen bzw. extremen Bedingungen für den Effekt des Speichers im Netz aus. Damit ein Speicher das Netz so entlasten kann, dass Jahreshöchstlast überall im Netz durch die Ausspeicherleistung des Speichers reduziert werden kann, muss diese Anlage direkt an den Ausspeisepunkten stehen, sodass das gesamte Netz gleichmäßig ausgelastet werden kann. Würde der Speicher dagegen bei den Einspeisungen des Netzes stehen, müsste das Netz trotzdem alle Fluktuationen der Nachfrage ausgleichen. Das gilt in abgeschwächter Form auch dann, wenn die Speicher „auf halber Strecke“ liegen. Nach Einschätzung des Gutachters überschätzt der Parameter damit die Wirkung von Speichern systematisch.
- Die Nutzung der Speicheroptionen erfolgt in der Regel nicht durch die FNB, sondern durch die nicht der Regulierung unterliegenden Marktteilnehmer (s. o.). In der Regel sind daher weder die Existenz noch die Nutzung von Speichern vom FNB beeinflussbar. Der Speichereinsatz ist deshalb als hinzunehmende Veränderung der Transportaufgabe ggü. einem FNB ohne Speicher einzustufen.
- Im Sinne des Effizienzvergleichs sollte die Jahreshöchstlast nicht angepasst werden, sondern bezüglich der Kosten gebenchmarkt werden, ob es effizienter ist, Speicher zu nutzen oder das Netz auszubauen. Voraussetzung wäre, keine endogenen Parameter wie die Leitungsparameter im Modell zu verwenden.

Fazit: Der Parametervorschlag «Bereinigte Jahreshöchstlast» überschätzt den Effekt von Speichern. Der Effekt ist insbesondere von der Positionierung der Speicher abhängig und kann theoretisch auch durch eine günstig gelegene sonstige Einspeisung resultieren. Ein Parameter wie das Transportmoment vermag es, die räumliche Verteilung von Ein- und Ausspeisepunkten und damit auch den Effekt von Speichern abzubilden. Die TM/TWM Parameter wurden insbesondere bei der TWM2-Entwicklung dahingehend überprüft.

Parametervorschlag Absolute Höhe der internen Bestellungen der terranets

terranets schlug vor, als zusätzlichen Parameter die absolute Höhe der internen Bestellungen im Jahr der Kostenprüfung zu bilden. Dieser Parameter soll einen verbindlichen Versorgungsbedarf von Kunden zum Ausdruck bringen, die keine alternative Gasversorgung wählen können („gefangene Kunden“), sodass diese auf eine effiziente und sichere Versorgung durch die FNB angewiesen sind. Zudem könne anhand befristet fester oder gar unterbrechbarer Kapazitäten noch nicht umgesetzter Netzausbau mit potentiellen CAPEX-Steigerungen identifiziert werden. Der Parameter basiere auf verbindlichen Meldungen der Netzkunden und sei nicht durch den FNB beeinflussbar.

Im Folgenden wird die Einschätzung des Gutachters beschrieben:

- Eine Neuheit an diesem Parameter gegenüber den in RP3 analysierten Parametern stellt der Umstand dar, dass dieser Parameter nicht die tatsächlich eingetretene Last (ex post), sondern die den Netzbetreibern angekündigte / prognostizierte Last darstellt (ex ante) und damit die Anforderungen nachgelagerter Netzbetreiber an den FNB beschreibt. Dadurch werden Unsicherheiten in der Last, die durch Witterungen oder Konjunktur entstehen können, geglättet. Die (Prognose der) internen Bestellungen stellen damit eine Planungsgröße des FNB dar, die im Rahmen der Netzauslegung berücksichtigt wird. Im Unterschied zu den in dieser Regulierungsperiode nicht mehr als Parameter abgefragten Kapazitätsprodukten (Transportkunde – FNB), beziehen sich interne Bestellungen der nachgelagerten Netzbetreiber auf die Rollen VNB – FNB.
- Es ist nicht möglich, im Modell des Effizienzvergleichs über alle Netzbetreiber hinweg einen eindeutigen Bezug zwischen befristet festen (oder unterbrechbaren) Kapazitäten sowie einem Aufwand für Netzausbau herzustellen, da z.B. unterbrechbare Kapazitäten gerade flexiblen Kunden bewusst angeboten werden, um Netzausbaukosten zu sparen. Das für die Flexibilität im Gegenzug reduzierte Netzentgelte als motivierender Anreiz geboten werden müssen, spielt in der Effizienzbetrachtung keine Rolle, da der Zuschnitt der einzelnen Entgelte innerhalb der Erlösobergrenze erfolgt.
- Der Parameter der internen Bestellungen weist gegenüber der zeitungleichen Jahreshöchstlast die Schwäche auf, nicht die gesamte im Fernleitungsnetz transportierte Gasmenge zu erfassen, da Ausspeisungen in Netze anderer FNB sowie von Letztverbrauchern und Speichern nicht erfasst werden. Der Parameter kann also nur komplementär bzw. in Kombination mit einem Parameter, der die Lücke dieses Parameters zu schließen vermag, in das Modell aufgenommen werden.

- Interne Bestellungen können zwar als veröffentlichte Datenquelle theoretisch auch ohne Erhebung erfasst werden, die Konsistenz und Kompatibilität zu den Daten des Erhebungsbogens sind jedoch nicht zwingend gegeben.

Fazit: Der Parameter kann, da er gegenüber der Jahreshöchstlast die Last nur unvollständig abbildet, nur komplementär bzw. in Kombination mit einem Parameter, der diese Lücke zu schließen vermag, in das Modell aufgenommen werden. Ein analoger Parameter, der die fehlende Last abbildet, ist im Rahmen der Datenerhebung nur über die Jahreshöchstlast (getrennt nach Knotentypen) möglich. Aus Sicht des Gutachters ist es zielführender, auf eine konsistente Datengrundlage – die Jahreshöchstlast – aufzubauen und diese aufzuteilen. Die Unterscheidung zwischen vertikaler Last und Arbeit (Letztverbraucher, Verteilnetze – also analog zu internen Bestellungen, Speichern) gegenüber der jeweiligen horizontalen Entsprechung (FNB) soll im Rahmen dieser Regulierungsperiode wiederum geprüft werden (vgl. auch Ausführungen zur vertikalen Fläche, Technical Blocks).

Rohrleitungsmantelfläche (inputorientiert)

In RP3 wurde die Rohrleitungsmantelfläche durch geometrische Umrechnung aus dem Rohrleitungsvolumen bestimmt, damit im Parameter diejenige Mantelfläche abgebildet ist, welche der ihm zur Verfügung stehenden Kapazität entspricht. Dies bedeutet bei Rohrleitungen im Bruchteilseigentum, dass aufgrund des Wurzelzusammenhangs insgesamt eine größere Rohrleitungsmantelfläche als tatsächlich verlegt ist, zwischen den Netzbetreibern aufgeteilt wird. Der Parameter kann so als „outputorientiert“ gesehen werden, indem er sich an der bereitgestellten Kapazitäten orientiert.

Dies wurde von einem Netzbetreiber bemängelt mit der Forderung, bei Bruchteilseigentum die tatsächliche Rohrleitungsmantelfläche gemäß den Eigentumsverhältnissen aufzuteilen. Dem wird entsprochen, indem neu auch eine „inputorientierte Rohrleitungsmantelfläche“ gebildet wird. Mit dieser anteiligen Mantelfläche könnte, falls individuell verbaut, die vorliegende anteilige Kapazität gemäß dem gemeldeten anteiligen Rohrvolumen nicht geleistet werden. Gleichzeitig entspricht sie genau dem Anteil des FNB an der verbauten Rohrleitungsmantelfläche.

Die Details zur Bildung finden sich im Anhang A.2.1. Eine Besprechung folgt in Abschnitt 3.4.1.

3.1.6 Zwischenergebnis: In der aktuellen KTA zu untersuchende Parameter

Gestützt auf die obigen Ergebnisse werden die in **Tabelle 6** aufgeführten grundlegenden Parameter gebildet und untersucht.

Tabelle 6: Zu untersuchende Parameter

Parameter [Einheit]	Beschreibung	Variablenname
Rohrgeometrie		
Leitungslänge [km]	Längen aller Leitungsabschnitte	yPipe_length
Rohrleitungsvolumen [m3]	Rohrleitungsvolumina aller Leitungsabschnitte	yPipe_volume

Rohrleitungsmantelfläche outputorientiert [m ²]	Rohrleitungsmantelflächen aller Leitungsabschnitte (bei BTG hypothetischer Anteil nach Kapazität)	yPipe_surface
Rohrleitungsmantelfläche inputorientiert [m ²]	Rohrleitungsmantelflächen aller Leitungsabschnitte (bei BTG anteilige Aufteilung nach Mantelfläche)	yPipe_surface_input
Jahresarbeit		
Jahresarbeit Einsp. [nm ³]	Eingespeiste Jahresarbeit im Bezugsjahr	yEnergy_injected
Jahresarbeit Aussp. [nm ³]	Ausgespeiste Jahresarbeit im Bezugsjahr	yEnergy_delivered (+h/v)
Last		
Netzlast Einsp. [nm ³ /h]	Zeitgleiche Jahreshöchstlast der Einspeisungen	yPeakload_injec_Qsim
Netzlast Aussp. [nm ³ /h]	Zeitgleiche Jahreshöchstlast der Ausspeisungen	yPeakload_deliv_Qsim
Jahreshöchstlast Einsp. [nm ³ /h]	Zeitungleiche Jahreshöchstlast der Einspeisungen	yPeakload_injec_Qmax
Jahreshöchstlast Aussp. [nm ³ /h]	Zeitungleiche Jahreshöchstlast der Ausspeisungen	yPeakload_deliv_Qmax (+h/v)
Anschlüsse		
Anzahl Einspeisepunkte [#]	Um Redundanzen bereinigte Einspeisepunkte (EP)	yPoints_entry_num
Anzahl Ausspeisepunkte [#]	Um Redundanzen bereinigte Ausspeisepunkte (AP)	yPoints_exit_num
Anzahl Ein- und Ausspeisepkt. [#]	Um Redundanzen bereinigte Anzahl EP und AP	yPoints_num
Verdichter und Druckregler		
Anzahl Verdichter [#]	Anzahl der angegebenen Verdichtereinheiten	yCompressor_num
Verdichterleistung [MW]	Installierte Verdichterkapazität	yCompressor_power_sum
Treibenergie [MWh]	Von den Verdichtern verbrauchte Energie	yCompressor_energy_used
Anzahl Druckregler [#]	Anzahl der angegebenen Druckregler	yController_num
Nenndurchfluss Druckregler [nm ³ /h]	Nenndurchfluss der angegebenen Druckregler	yController_flow
Fläche		
Polygonfläche teilnetzscharf [m ²]	Fläche der konvexen Hüllen der vollständigen Teilnetze	yArea
Polygonfläche um alle Punkte und Leitungen [m ²]	Fläche der konvexen Hüllen des gesamten Netzes	yArea_all
Vertikale Polygonfläche [X]	Fläche der konvexen Hülle der Exit-Punkte an VNB und Letztverbraucher	yArea_vertical
TM/TWM		
Transportmoment Leistung	Transportmoment gebildet mit Qmax und Qsim (Luftlinie und Realdistanz)	yTM_Qmax_LD/RD
Transportmoment Arbeit	Transportmoment gebildet mit Jahresarbeit Qjahr (Luftlinie und Realdistanz)	yTM_Qjahr_LD/RD
Transportwurzelmoment 1 Qmax	Transportwurzelmoment gebildet mit Qmax (hochskaliert)	yTWM1_Qmax
Transportwurzelmoment 1 Qsim	Transportwurzelmoment gebildet mit Qsim (hochskaliert)	yTWM1_Qsim
Transportwurzelmoment 1 Qjahr	Transportwurzelmoment gebildet mit Qjahr (hochskaliert)	yTWM1_Qjahr
Transportwurzelmoment 2 Qmax	Transportwurzelmoment 2 gebildet mit Qmax	yTWM2_Qmax
Netzcharakteristiken		
Anzahl Verzweigungen [#]	Anzahl der Verzweigungen im Netzgebiet	yBranches_num
Anzahl Maschen [#]	Anzahl der Maschen im Netzgebiet	yMeshes_num
Gebietseigenschaften		
Bodenklassen	Bodenklassen mit erhöhter Kostenwirkung	mehrere (s. Anhang B)
Grabbarkeit	Grabbarkeitsklassen mit erhöhter Kostenwirkung	zSoil_GB0378_V02
Aufwandsklassen	Aufwandsklassen mit erhöhter Kostenwirkung	mehrere (s. Anhang B)
Neigung	Mittlere Hangneigung	zSoil_BK0267_V02

blau eingefärbt sind die im Modell der RP3 verwendeten Parameter,

rot eingefärbt sind neu gebildete Parameter

grün eingefärbt sind zusätzlich nach horizontal und vertikal disaggregierte Parameter

Quelle: Eigene Darstellung;

Anhang B umfasst die **vollständige Liste der Parameter** inkl. zugehöriger Variablennamen, für die eine Bereitstellung der berechneten Werte zu Informations- und Kontrollzwecken

im Rahmen der an die Netzbetreiber verschickten Datenquittungen erfolgte.¹⁷ Auf dieser Datengrundlage basiert die Modellentwicklung und -berechnung für den Effizienzvergleich. Insgesamt handelt es sich um 44 Parameter.

Die **genaue Beschreibung der Parameter** findet sich in **Anhang A** (Abschnitte A.2.1 bis A.2.10).

3.2 Konzeptionelle Einordnung der Parameter

Die oben aufgeführten Parameter werden nachfolgend entlang der nachfolgenden drei Schritte konzeptionell eingeordnet:

- **Einteilung in Gruppen** (Abschnitt 3.2.1): In einem ersten Schritt werden analytisch verwandte Parameter in Gruppen geordnet.
- **Zuordnung der Parameter/Gruppen zu Versorgungsdimensionen** (Abschnitt 3.2.2): In einem zweiten Schritt werden die Parametergruppen den drei grundlegenden Versorgungsdimensionen Transport, Kapazitäts- und Dienstleistungsbereitstellung zugeordnet.
- **Klassifizierung der Gruppen/Parameter nach Kontrollierbarkeit durch den FNB** (Abschnitt 3.2.3): In einem dritten Schritt wird die Kontrollierbarkeit der Parameter(gruppen) durch die Netzbetreiber beurteilt.

Es erfolgt – auch wenn nachfolgend weiterhin beachtet – keine separate Einordnung nach Parametern, die eher vertikale oder eher horizontale Transportaufgaben stärker gewichtet abbilden, da diese Klassifizierung hohe Redundanzen zur Zuordnung zu Versorgungsdimensionen aufweist.

In einem vierten Schritt werden die so gewonnenen Erkenntnisse zusammengeführt (Abschnitt 3.2.4).

3.2.1 Gruppenbildung

Die Gruppenzuordnung der Parameter ist in Tabelle 6 niedergelegt (blaue Zeilen), die ausführliche Liste findet sich in Anhang B. Beispielsweise werden eingespeiste und ausgespeiste Jahresarbeit zur Gruppe «Jahresarbeit» zusammengefasst. Die Gruppen werden später z. B. bei der ökonomischen Kostentreiberanalyse gesondert analysiert.

3.2.2 Zuordnung zu Versorgungsdimensionen

Analog zu früheren Effizienzvergleichen von Swiss Economics und SUMICSID (insbesondere auch EVS2 und EFG3, aber auch im internationalen Kontext e2GAS, TCB18 (Transmission Cost Benchmarking Project 2018) und TCB21 (TSO Cost-efficiency Benchmark 2021))

¹⁷ Kosten für Gasmischstationen werden den Marktgebietsverantwortlichen anderweitig vergütet.

werden die Vergleichsparameter analytisch den nachfolgenden drei Versorgungsdimensionen zugeordnet:¹⁸

- **Transport** («Arbeit», «Betrieb»): Kennzeichnet Parameter, die den realen Transport von Gas durch ein vorhandenes („vorgehaltenes“) System zur Bedienung der Kundennachfrage abbilden. Ein direkter arbeitsabhängiger Kostenbezug weist etwa die Treibenergie für Verdichter auf.
- **Kapazitätsbereitstellung** («Leistung», «Vorhaltung»): Umfasst Parameter, welche vorrangig die jederzeit betriebsfähige Vorhaltung von Transportkapazität abbilden. Zu den damit verbundenen Kosten zählen z. B. Kapitalkosten, die sich aus dickeren Rohrdurchmessern oder höheren maximalen Ausspeiseleistungen ($Q_{\max}$) an Ausspeisepunkten ergeben. Die Jahreshöchstlast ist ein Beispiel für einen Parameter, welcher der Dimension Kapazitätsbereitstellung zugeordnet wird.
- **Dienstleistungsbereitstellung** («Anschluss» der Kunden ans Netz): Der Dimension „Dienstleistung“ werden Parameter zugeordnet, welche Leistungen abbilden, die Grundvoraussetzung für die Belieferung von Einzelkunden mit Gas sind. Hierzu zählt die potenzielle Anschließbarkeit eines Kunden (versorgtes Gebiet), der Anschlusspunkt eines Einzelkunden inkl. Kundenverwaltung (Vertragsmanagement, Zählung und Abrechnung) und dessen Anbindung an Einspeisepunkte durch ein Leitungsnetz. Aus der Kombination der erbrachten Dienstleistungen ergeben sich wesentliche Teilaspekte wie die „Netzausdehnung“ und die „Komplexität der Netztopologie“ (Verästelung, Vermaschung), die mit einer höheren Granularität einhergeht, inklusive entsprechender Flexibilitätserfordernisse (soweit nicht schon durch die Kapazitätsdimension abgebildet). Bei der Beurteilung von Effizienzvergleichsmodellen wird später darauf geachtet, dass diese wichtigen Teilaspekte durch die Parameterwahl angemessen abgebildet sind. Ein Parameter der Dienstleistungs-Dimension ist z. B. die Anzahl der Ein- und Ausspeisepunkte, der neben den Anschlüssen auch einen Proxy für die Komplexität der Versorgungsaufgabe darstellt.

Die Versorgungsdimensionen stellen eine „top-down“ Zerlegung der Gesamtheit an Versorgungsaufgaben dar, die von den zu untersuchenden FNB im regulierten Bereich erbracht werden. Ein Großteil der Parameter kann einer Versorgungsdimension zugeordnet werden. Gleichwohl ist das Ergebnis der Zuordnung von Parametern zu Versorgungsdimensionen nicht so zu verstehen, dass jeder Parameter bzw. jede Parametergruppe ausschließlich zu einer Versorgungsdimension gezählt werden muss. Dies wird insbesondere

¹⁸ Von CONSENTEC und Frontier wurden in der RP2 die drei Dimensionen „Kapazitätsbereitstellung“, „Netzausdehnung“ und „Granularität“ verwendet. Letztere beiden stellen keine eigentlichen Outputs dar, sondern sind in der nachfolgenden Logik Teilaspekte, die sich aus der Dienstleistungsdimension ergeben. Müssen z. B. mehr Anschlüsse bedient werden, ergibt sich eine erhöhte Granularität. Liegen die Anschlüsse weiter auseinander, ergibt sich eine höhere Netzausdehnung. Die Transportdimension ist demgegenüber ab RP3 neu hinzugekommen auf Basis der Versorgungsdimensionen anderer Effizienzvergleiche.

deutlich, wenn man bedenkt, dass einige Parameter sich als Aggregation aus anderen Parametern, die ggf. unterschiedlichen Versorgungsdimensionen zuzuordnen sind, ergeben.

Aus der Zuordnung eines Parameters oder einer Parametergruppe zu einer einzelnen Versorgungsdimension folgt nicht, dass die Dimension durch diesen Parameter bzw. diese Parametergruppe automatisch vollständig abgebildet würde. Die Zuordnung erleichtert lediglich die Bildung grundsätzlich geeigneter Parametersätze, indem überprüft wird, ob ein vorgeschlagener Parametersatz die drei Versorgungsdimensionen einerseits vollständig und andererseits ohne Überschneidungen abdeckt.

Tabelle 7 zeigt die vorgenommene Zuordnung der Parametergruppen (bzw. Einzelparameter, soweit aus konzeptionellen Gründen eine Differenzierung angezeigt ist).

Tabelle 7: Zuordnung der Parametergruppen zu den Versorgungsdimensionen

Transport („Arbeit“)	Kapazität („Leistung“, „Vorhaltung“)	Dienstleistung („Anschluss“)
Jahresarbeit	Höchstlast	Anschlüsse
		Leitungslänge
		Rohrvolumen und -mantelfläche
TM/TWM Arbeit	TM/TWM Leistung	Polygonfläche
Verdichter (Treibenergie)	Verdichterleistung	
	Druckregler (Nenndurchfluss)	Druckregler (Anzahl)
		Netzcharakteristiken
		Gebietseigenschaften

Quelle: Eigene Darstellung

Der Tabelle lässt sich folgendes entnehmen:

- Die **Polygonfläche** wird erneut der Dienstleistungsdimension zugeordnet, da sie die Fläche ausdrücken soll, die vom Gasnetzbetreiber versorgt wird, was für den Anschluss eines Kunden Voraussetzung ist.
- Das **Transportmoment** wird nicht mehr wie in der RP3 der Transport- und Kapazitätsdimension zugeordnet, da nun separate Bildungen mit Q_{jahr} und $Q_{\text{max/sim}}$ erfolgen. Gebildet mit Q_{jahr} liegt die Zuordnung bei der Transportdimension (über eine Distanz zu transportierende Jahresmenge). Die Bildungen mit Q_{max} und Q_{sim} werden neu ausschließlich bei der Kapazitätsdimension verortet mit der Interpretation, dass es sich um minimal zu verlegende Leitungsquerschnitte handelt, um die geforderten Maximalmengen liefern zu können.
- **Rohrleitungsvolumen** und **Rohrleitungsmantelfläche** bilden als Kombination von Durchmesser (Kapazität) und Leitungslänge (Dienstleistung/Anschluss) die beiden Dimensionen Kapazitäts- und Dienstleistungsbereitstellung ab.
- Demgegenüber wird die **Leitungslänge** nur der Dienstleistungsdimension zugeordnet, da die Länge der Leitungsverbindung zwischen einzelnen Knoten selbst noch keine

Aussage über die Kapazität der Röhre enthält, die Verbindung zum Kundenanschluss jedoch Voraussetzung für eine Belieferung ist.

- Analog zur RP3 wird der Aspekt «netztechnische Flexibilität» der Dienstleistungsdimension zugeordnet und als Teilaspekt dieser im Auge behalten. Die zur Abbildung der Flexibilität gebildeten Parameter der „**Netzcharakteristiken**“ (vgl. Abschnitt 3.1.5) werden entsprechend der Dimension der Dienstleistungsbereitstellung zugeordnet. Diese ist eng mit der Flexibilitätsbereitstellung verwandt, was sich in den ihr ebenfalls zugeordneten Parametern **Anschlüsse und Polygonfläche** zeigt (wobei die Polygonfläche im Rahmen der Konsultationen RP3 und RP4 von Netzbetreibern als ein geeigneter Parameter bezeichnet worden ist, um die netztechnische Flexibilität abzubilden).

3.2.3 Zuordnung nach Kontrollierbarkeit

Gemäß § 13 Abs. 3 ARegV unterstützen Parameter die Belastbarkeit des Effizienzvergleichs, wenn sie „nicht durch Entscheidungen des Netzbetreibers bestimmbar“ sind. Aktivitäten des Netzbetreibers können dabei unmittelbare oder mittelbare Wirkungen auf die beeinflussbaren Kosten haben. Eine unmittelbare Wirkung entsteht bspw. bei der Festlegung von Boni der Geschäftsleitung. Eine mittelbare Wirkung entsteht, wenn ein Netzbetreiber abwägt, ob er zur Erreichung einer bestimmten Kapazität Verdichter einsetzen oder größere Rohrdurchmesser verbauen soll. Demgegenüber wirken Parameter wie „Gasnachfrage“, „Grabbarkeit des Bodens“ oder „Preisniveau Leitungsbau bei Errichtung“ zwar kostentreibend, der Netzbetreiber hat hierauf aber keinen signifikanten Einfluss. In diesem Sinne nicht kontrollierbar durch den Netzbetreiber sind generell Z-Parameter – ein FNB kann beispielsweise den Bodentyp nicht beeinflussen, sondern muss mit dieser exogen vorgegebenen Rahmenbedingung umgehen, z. B. indem schwierige lokale Bedingungen entweder durch geeignete Trassenwahl umgangen oder optimal überwunden werden.

Bei Y-Parametern wird nachfolgend wie bspw. beim EFG3 nach deren Output- und Input-Orientierung unterschieden:

- **Inputorientierte X(Y)-Parameter** sind grundsätzlich direkt kontrollierbar. Die mit den Parametern widergespiegelten Inputs z. B. Verdichter oder Leitungskapazitäten verursachen direkt Kosten, stehen aber nicht unmittelbar mit der erbrachten Dienstleistung (Output) im Zusammenhang. Bspw. bringt eine Verdoppelung der Rohrdurchmesser per se keine zusätzliche oder verbesserte gaswirtschaftliche Leistung, erhöht aber direkt die Kosten. Gerade bei weit in der Vergangenheit getätigten Investitionen ist allerdings heute die direkte Beeinflussbarkeit nicht gegeben. Ebenfalls können regulatorische Vorgaben oder Kontrollmechanismen einschränkend wirken. Insofern werden inputorientierte Parameter als eher endogene Parameter gewertet, sie werden aber nicht im Vorherein aus der Analyse ausgeschlossen, zumal auch die ARegV in § 13 Abs. 3 S. 4 teils eher inputorientierte Parameter als mögliche Vergleichsparameter vorsieht.
- **Outputorientierte Y-Parameter** sind demgegenüber grundsätzlich weniger gut kontrollierbar. Sie ergeben sich aus den von den Kunden nachgefragten gaswirtschaftlichen

Leistungen, so etwa die Jahreshöchstlast oder die Ausspeisung. Outputorientierte Y-Parameter werden entsprechend als eher exogene Parameter bezeichnet in dem Sinn, als dass sie durch Entscheidungen der Netzbetreiber weniger gut beeinflussbar sind.

Aus regulatorischer Sicht sind im Rahmen einer Anreizregulierung grundsätzlich outputorientierte Y-Parameter vorzuziehen.

Die vorgenommene Klassifizierung nach Kontrollierbarkeit umfasst somit folgende vier Kategorien:

- **C(Y,Z):** Aufwandsparemeter (cTotexN, cTotexS);
- **Y:** Output-/Nutzenorientierte, exogene Y-Parameter, bspw. Ausspeisung;
- **X(Y):** Input-/Anlagenorientierte, endogene Y-Parameter, bspw. Anzahl Verdichter;
- **Z:** Nicht kontrollierbare, exogene Z-Parameter, welche die Leistungserstellung begünstigen oder verteuern, z. B. Bodenbeschaffenheit.

Tabelle 8 fasst die vorgenommene Einordnung der Parameter nach Kontrollierbarkeit zusammen.

Tabelle 8: Einordnung der Parameter nach Kontrollierbarkeit

C(Y,Z)	X(Y): Input-/Anlagenorientiert, eher endogen	Y, Z: Output-/Nutzenorientiert, eher exogen
cTotexN	Rohrgeometrie	Jahresarbeit
cTotexS	Verdichter	Höchstlast
	Druckregler	Anschlüsse
	Polygonfläche	Transport(wurzel)moment
	Verzweigungen, Maschen	Gebietseigenschaften

Quelle: Eigene Darstellung

Da die **Polygonfläche** unabhängig von der Kundennachfrage ist und ausschließlich durch die äußeren Endpunkte des vom FNB betriebenen Leitungssystems bestimmt wird, ist diese durch die vom FNB betriebenen Anlagen definiert (Anschlüsse, Knoten). Der Netzbetreiber kann insb. über Bruchteilseigentum bzw. Pachtverträge Einfluss auf die Endpunkte des von ihm betriebenen Systems nehmen. In der Variante yArea_all, bei der alle Anschlusspunkte und Leitungen unabhängig von ihrer Verbundenheit berücksichtigt werden, ist die Polygonfläche noch klarer durch die Netzbetreiber beeinflussbar: Zum einen kann die vertragliche Hinzunahme eines einzelnen isolierten, weit entfernten Punktes die Fläche stark erweitern, ohne dass dies mit einer entsprechenden Vergrößerung der Versorgungsaufgabe einhergehen würde, wie wenn dieser Punkt mit einer neuen Leitung erschlossen worden wäre. Zum anderen kann auch das Angebot des FNB an VNB die Polygonfläche beeinflussen, da es unterschiedliche Verfahrensweisen der FNB hinsichtlich Zuständigkeit und Eigentum von Anschlussleitungen gibt. Zu bemerken ist in dem Zusammenhang, dass bei der Polygonfläche Mengen nicht berücksichtigt werden, es muss also am betreffenden Punkt keine effektive Ein- bzw. Ausspeisung erfolgen. Schließlich besteht für die FNB – anders als für VNB – keine Grundversorgungsverpflichtung zur Abdeckung

gewisser Flächen. Aus diesen Erwägungen wird die Polygonfläche, insbesondere in der Ausgestaltung yArea_all, bei der die Teilnetzvollständigkeit nicht berücksichtigt wird, als eher endogen klassifiziert, obgleich die Polygonfläche durch die zu beliefernden Entry- und Exitpunkte (zumindest vor Einführung des regelmäßig weiterentwickelten Netzentwicklungsplans der FNB, der unter Berücksichtigung seitens der BNetzA vorgebrachter etwaiger Änderungsverlangen durch die BNetzA bestätigt werden muss) auch einen gewissen exogenen Bezug aufweist.

Bei den Netzcharakteristiken beeinflussen einzelne, zu verbindende Anschlüsse direkt die Anzahl **Verzweigungen**, während die Anzahl der **Maschen** stärker in der Hand der Netzbetreiber liegen. Da Verzweigungen trotzdem direkt durch den Netzbetreiber beeinflussbar sind, werden diese anders als in der RP3 ebenfalls als eher endogen eingestuft.

Weitere Ausführungen zur Kontrollierbarkeit der Parameter finden sich in Abschnitt 3.4.

3.2.4 Zusammenfassung

Die Zuordnung der Vergleichsparameter nach Versorgungsdimensionen und Kontrollierbarkeit ist in **Tabelle 9** zusammengefasst. Dunkelblau eingefärbt sind die in der RP3 final gewählten Vergleichsparameter.

Tabelle 9: Einordnung nach Versorgungsdimension und Kontrollierbarkeit

	Transport („Arbeit“)	Kapazität („Leistung“, „Vorhaltung“)	Dienstleistung („Anschluss“)
Y, Z	Jahresarbeit	Höchstlast	
Output-/ Nutzen- orientiert; eher exogen	TM/TWM (Arbeit)	TM/TWM (Leistung)	Anschlüsse
			Gebietseigenschaften
			Leitungslänge
X(Y)			Rohrleitungsvolumen und -mantelfläche
Input-/ Anlagen- orientiert; eher endogen	Verdichter (Treibenergie)	Verdichterleistung	
		Druckregler (Nenn durchfluss)	Druckregler (Anzahl)
			Polygonfläche
			Verzweigungen, Maschen

Quelle: Eigene Darstellung

Mit Hilfe der Zuordnung der Parameter zu Versorgungsdimensionen kann später beurteilt werden, inwieweit Parametersätze die verschiedenen Versorgungsdimensionen abbilden. **Die drei Versorgungsdimensionen werden allerdings nicht als gleich wichtig erachtet:**

- „Need to have“: Im finalen Modell soll die auslegungsrelevante Kapazitätsdimension abgebildet werden. Ebenso soll die Dienstleistungsdimension enthalten sein, darin eingeschlossen die Aspekte Netzausdehnung und Granularität der Versorgungsaufgabe mit Flexibilität/Komplexität der Netze.

- „Nice to have“: Nicht zwingend zu berücksichtigen ist die Transportdimension, da diese in der Regel für das Netz nicht auslegungsrelevant ist¹⁹ und zudem stark mit Parametern der Kapazitätsdimension korreliert. So lag beispielsweise im Modell der RP3 kein Parameter vor, der die Transportdimension abgebildet hätte. Parameter der Transportdimension kommen daher insbesondere für die Ergänzung von Modellen in Frage, werden aber nicht a priori ausgeschlossen.

Die „**Exogenität**“ eines Parameters steht in einem Zusammenhang mit dessen einhergehender **Kontrollierbarkeit**. Je exogener ein Parameter, desto wünschenswerter ist seine Berücksichtigung in einem Effizienzvergleichsmodell nach § 13 ARegV. Allerdings schließt die ARegV gemäß § 13 Abs. 3 S. 4 ARegV die vorliegend als eher endogen eingestuften Parameter Leitungslänge, Rohrvolumen und versorgte Fläche nicht aus, sondern legt diese im Gegenteil zur Berücksichtigung sogar nahe. Die genannten Parameter werden insofern aus Sicht des Verordnungsgebers explizit als ausreichend exogen eingestuft. Insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Dynamik der Transportaufgabe von FNB (z. B. Quellendiversifizierung) sowie zunehmenden Anforderungen an die Resilienz des Systems, können die eher endogenen Parameter, die wie die Rohrgeometrieparameter oder Verdichterleistung statischer Natur sind, eine robustere Beschreibung der gaswirtschaftlichen Leistung, z. B. Kapazitätsbereitstellung, liefern, als es dynamische Parameter wie die Jahresarbeit oder Jahreshöchstlast sind. Daher werden inputorientierte Parameter bei der Modellbildung grundsätzlich als gleichwertig betrachtet. Bei der finalen konzeptionellen Beurteilung von Modellen bleibt die Exogenität ein Kriterium unter weiteren.

3.3 Quantitative Analyse: Punktuelle Erweiterung der Referenznetzanalyse der RP3

3.3.1 Vorgehen

Ansatz

In der RP3 wurden ausgewählte Vergleichsparameter im Rahmen einer Referenznetzanalyse (RNA) auf ihre kostentreibende Wirkung in abstrakten Netztypen, sog. „illustrativen Teilnetzen“ untersucht. Dies ermöglichte es, den Erklärungsgehalt ausgewählter Vergleichsparameter analytisch besser beurteilen zu können.

Ziel der vorgenommenen RNA ist die Beurteilung der Wirkung der wesentlichen Vergleichsparameter für illustrative Netzstrukturen, denen möglichst reale Strukturen der teilnehmenden Netzbetreiber zugrunde liegen und die die Bandbreite an den typischen, von den FNB erbrachten Versorgungsaufgaben im Grundsatz abbilden. Dies ermöglicht – unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden Annahmen – ein besseres Verständnis dafür, welche Kosteneffekte die Vergleichsparameter abzubilden vermögen und welche gerade nicht. Durch Letzteres informiert die Analyse auch über mögliche analytisch sinnvolle Kombinationen von Kostentreibern. Somit wird eine bessere analytische Einschätzung der

¹⁹ D.h. mit geringerer Kostenwirkung.

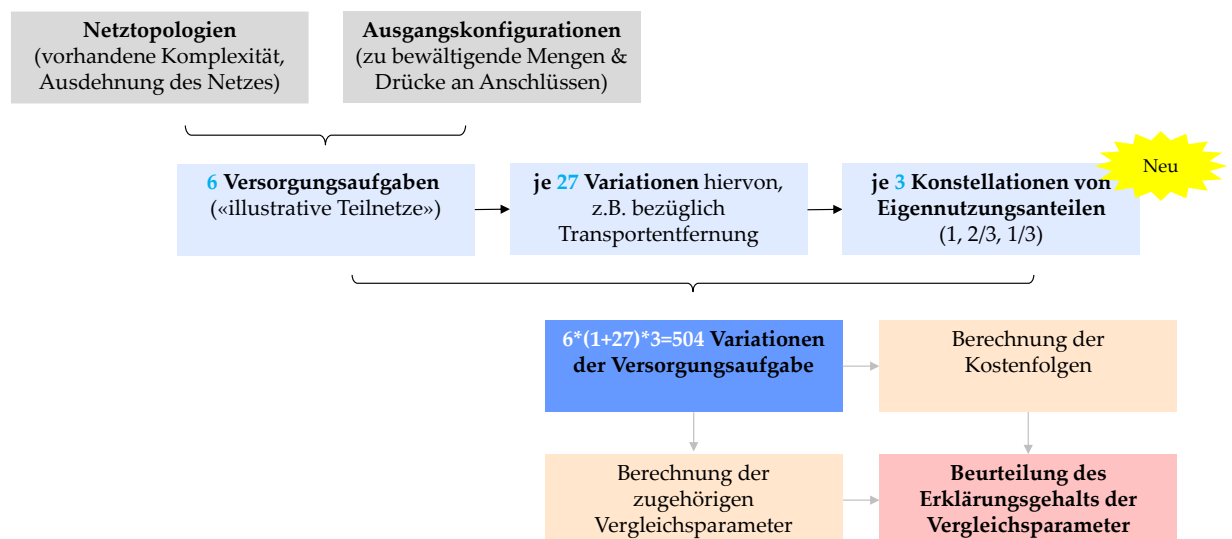
Geeignetheit einzelner und kombinierter Vergleichsparameter im Rahmen der KTA Ing ermöglicht. Ziel ist damit ausdrücklich nicht das möglichst umfassende und genaue Abbilden der gesamten Kosten der gemeldeten integralen Netze oder die Beurteilung, inwieweit die Vergleichsparameter die realen Kosten der Netzbetreiber (inkl. Ineffizienzen) erklären können. Diese Beurteilung wird später in der KTA Oec vorgenommen, in welcher u. a. der Erklärungsgehalt der Vergleichsparameter auf die gemeldeten Kosten anhand der realen Daten beurteilt wird.

Da die grundlegenden Erkenntnisse grundsätzlich Bestand haben, wird der Fokus vorliegend neu auf die **Wirkung verschiedener Konstellationen von Fremdnutzungsanteilen** gesetzt. Ebenfalls wird der neue vertikale Parameter **yArea_vertical** aufgenommen (das TWM2 ist bei ausgeglichenen Netzen, wie sie in der RNA inhärent angenommen werden, deckungsgleich zum TWM1).

Die gewählte Methodik stimmt somit weitestgehend mit jener aus dem RP3 überein. Die Parameter werden für sechs abstrakte Netztypen berechnet. Pro Netztyp werden verschiedene Variationen betrachtet, die nachfolgend noch summarisch ausgeführt werden. Dies führt zu Parameterwerten für 168 Variationen dieser Teilnetze. Diese werden gerechnet für drei verschiedene Konstellationen von Fremdnutzungsanteilen, was insg. 504 Variationen der Versorgungsaufgabe ergibt, vgl. **Abbildung 6**.

Weitergehende Erläuterungen dazu sind im Gutachten für die dritte Regulierungsperiode im Absatz 4.4 zu finden.

Abbildung 6: Vorgehen bei der Referenznetzanalyse



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an EFG3

Umsetzung von Fremdnutzungsanteilen und vertikalen Parametern

Die unterschiedlichen **Fremdnutzungsanteile** werden indes für die verschiedenen Szenarien über alle Assets hinweg angenommen. Bei den Fremdnutzungsanteilen werden drei Fälle untersucht:

- Vollständige Eigennutzung (kein Fremdnutzungsanteil),
- Zwei Drittel Eigennutzung (ein Drittel Fremdnutzungsanteil) und
- Ein Drittel Eigennutzung (zwei Drittel Fremdnutzungsanteil).

Variationen sind konsequenterweise nur in Parametern zu finden, die auch für Fremdnutzungsanteile bereinigt werden (z. B. Jahresarbeit, nicht aber Fläche). Die genauen Bereinigungen der Parameterberechnungen finden sich im Anhang A.2.

Für die Berechnung der **vertikalen Parameter** werden gemäß Definition nur jene Ausspeisepunkte beachtet, welche einen vertikalen Transport aufweisen, namentlich die Punkte $Exit_{NKPVNB}$, $Exit_{Letztverbraucher}$. Die illustrativen Teilnetze verfügen zwar über Punkte des Typs $Exit_{Letztverbraucher}$, allerdings wird nicht zwischen $Exit_{NKPVNB}$ und $Exit_{NKPFNB}$ unterschieden. Die Unterscheidung wird deswegen aufgrund des fiktiven Ausspeisedrucks getroffen. Bis und mit 70 bar Ausspeisedruck werden die Punkte als $Exit_{NKPVNB}$ klassiert, Ausspeisepunkte mit einem höheren Druck werden als $Exit_{NKPFNB}$ definiert.

Durchführung

Bei der Durchführung werden zunächst die **Versorgungsaufgaben** festgelegt, welche anschließend **systematisch variiert** werden²⁰:

- Die Netztopologien wurden nach Ausdehnung differenziert, sowie nach der Komplexität (unverzweigt, verzweigt und vermascht) mit jeweils unterschiedlicher Rohrrauigkeit in Anlehnung an die gemeldeten Netze;
- Variiert wurden die Menge des transportierten Gases (an allen Punkten $\pm 5, 15, 50\%$ sowie an „horizontalen Punkten“ $\pm 25, 50\%$), Transportentfernungen ($\pm 5, 15, 50\%$), Druckdifferenz (+ 5, 10, 20 bar), Druckniveau ($\pm 4, 8, 16$ bar) und Anschlussdichten (- 25, 50%).

Für die definierten Versorgungsaufgaben und Variationen hiervon werden **synthetische Kosten** geschätzt und die **zugehörigen Vergleichsparameter** berechnet:

- Die detaillierte Beschreibung zu den Annahmen und der Berechnung der synthetischen Kosten ist im Bericht zur dritten Regulierungsperiode im Abschnitt 4.4.3 zu finden. Die Details der Optimierung finden sich ebenso im Anhang IV des genannten Dokuments.
- Die Berechnung der Vergleichsparameter erfolgt analog zur Berechnung bei den realen Netzen und ist in Anhang A.2 dokumentiert. Folgende Parameter wurden berechnet.²¹
 - Rohrgeometrie: Länge ($yPipe_length$), Volumen ($yPipe_volume$) und Mantelfläche ($yPipe_surface$ und $yPipe_surface_input$);

²⁰ Die Details hier sind im Gutachten der dritten Regulierungsperiode unter Abschnitt 4.4.2 genauer erläutert.

²¹ Für die als relevant betrachteten und abbildbaren Gruppen wurden in Anlehnung an CONSENTEC (2012) jeweils die wichtigsten Parameter ausgewählt. Da es sich bei den untersuchten Netztopologien jeweils um vollständige Netze handelt, sind einige GIS-basierte Parameter identisch, bspw. $yArea$ und $yArea_all$ bei Polygonfläche.

- Polygonflächen (yArea, yArea_vertical);
- Transportmoment (yTM) und Transportwurzelmoment (yTWM1 bzw. yTWM2).

3.3.2 Ergebnisse

Werden die für die jeweiligen Variationen der Versorgungsaufgaben berechneten Vergleichsparameter und synthetischen Kosten miteinander verglichen, können Erkenntnisse zum Erklärungsgehalt von Parametern für den Effizienzvergleich abgeleitet werden.

Die Erkenntnisse der RP3 bestehen grundsätzlich weiter und sind im Bericht zur dritten Regulierungsperiode im Abschnitt 4.4.4 zusammengefasst.

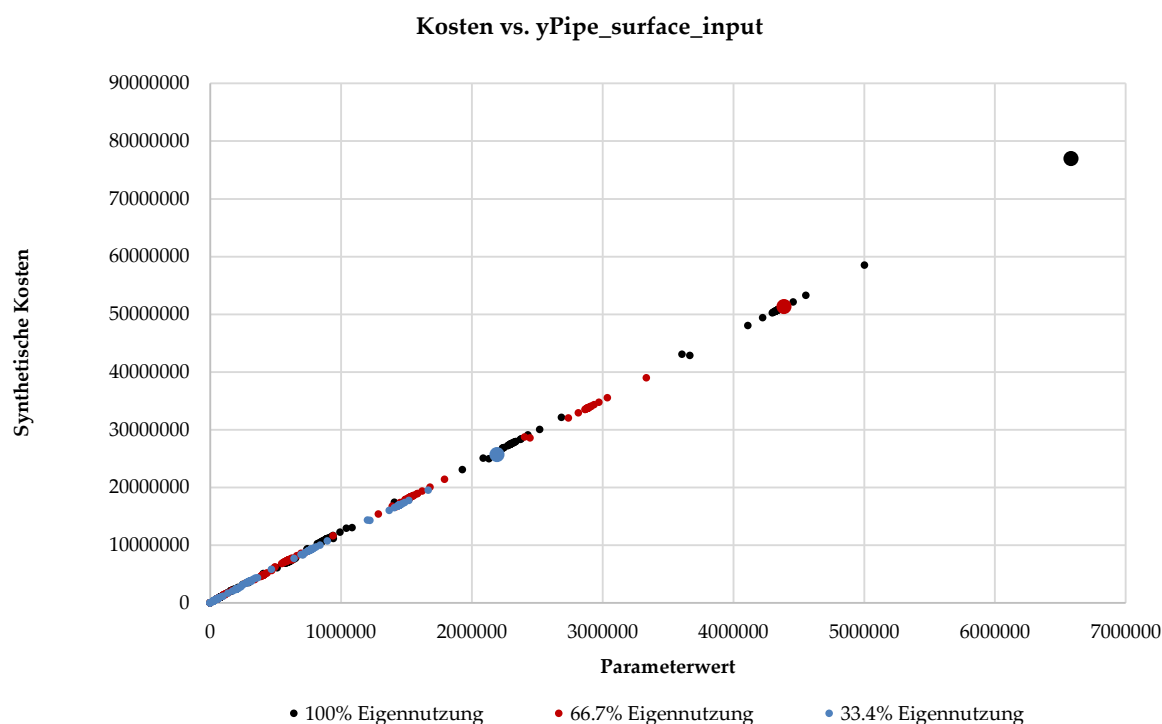
Rohrmantelfläche input- und outputorientiert

Wie in im Gutachten der dritten Regulierungsperiode in Abschnitt 4.4.3 dargelegt, wird eine mit dem Durchmesser der Rohrleitungen stetige, lineare Kostenfunktion angenommen und ansonsten hierzu proportionale Kosten modelliert. Da die Rohrmantelfläche linear mit dem Durchmesser steigt, das Rohrvolumen jedoch näherungsweise quadratisch, müsste sich bei richtiger Kostenberechnung für die Rohrmantelfläche per Annahme ein jeweils linearer Zusammenhang des Parameters mit den modellierten Kosten ergeben.

Vorliegend werden zwei verschiedene Versionen der Mantelfläche berechnet.

Der obige Zusammenhang wird in **Abbildung 7** bei der **inputorientierten Version** der Mantelfläche bestätigt, welche die verbaute Mantelfläche bei Bruchteilseigentum anteilig auf die Eigentümer verteilt. Im Streudiagramm werden für alle 3*168 Ausprägungen der Versorgungsaufgabe einerseits der berechnete Wert der Rohrmantelfläche und andererseits die modellierten zugehörigen Kosten mit einem Punkt dargestellt. Die verschiedenen Farben stellen die verschiedenen Eigennutzungsanteile dar (1/3; 2/3; 3/3).

Abbildung 7: Erklärungsgehalt der inputorientierten Rohrmantelfläche



Quelle: Eigene Darstellung

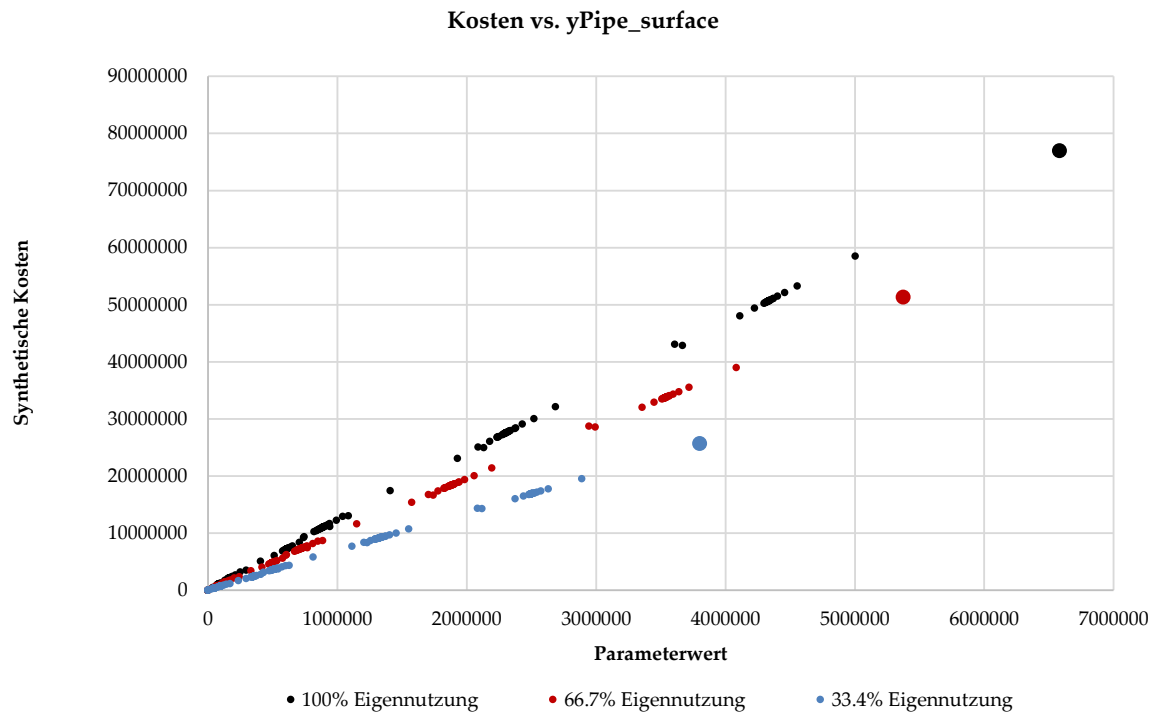
Unter den getroffenen Annahmen bedeutet dies, dass die inputorientierte Rohrmantelfläche sowohl bei einer Verdoppelung der Entfernung wie auch bei einer Verdoppelung der Kapazität je Leitungsabschnitt ein korrekter Indikator für die Errichtungskosten einer Rohrleitung ist²², dies unabhängig von der Fremdnutzungs-Konstellation. Dies zeigen auch die drei etwas dicker hervorgehobenen Punkte, welche zum besseren Verständnis speziell markiert sind und jeweils die gleiche Versorgungsaufgabe mit unterschiedlichen Fremdnutzungsanteilen aufzeigen: Wird die Mantelfläche des blauen Punkts (ein Drittel Eigennutzung) zu derjenigen des roten (zwei Drittel) addiert, resultiert diejenige des schwarzen Punkts oben rechts (100% Eigennutzung). Das gleiche gilt für die synthetischen Kosten.

Abbildung 8 zeigt das Ergebnis für die **outputorientierte Rohrmantelfläche**. Da hier die Mantelfläche auf die Kapazität je Bruchteil-Eigentümer hochgerechnet wird, weisen die Streuungen nach Eigennutzungsanteil jeweils drei verschiedene Steigungen auf und die Summe der Parameterwerte der rot und blau hervorgehobenen großen Punkte ergeben einen höheren Wert als der schwarze große Punkt, während der Zusammenhang bei den

²² Inwieweit die Rohrmantelfläche jedoch tatsächlich geeignet ist, die Kosten der gesamten realen Netze abzubilden, hängt davon ab, ob einerseits der angenommene lineare Zusammenhang zutrifft und andererseits in welchem Ausmaß nicht modellierte Kostenkomponenten wie Verdichter relevant sind. Hierüber vermag die vorliegende RNA keine Auskunft zu geben bzw. dies wird später im Rahmen der KTA Oec geklärt.

synthetischen Kosten linear bleibt. Dies liegt an der genannten Parameterwert-Hochrechnung auf die effektiv vorliegende Kapazität und drückt die Kosteneffizienz des Zusammengehens der beiden Netzbetreiber aus. Das Verhältnis zwischen synthetischen Kosten und den Parameterwerten bleibt für indes für alle drei Fälle linear.

Abbildung 8: Erklärungsgehalt der outputorientierten Rohrmantelfläche



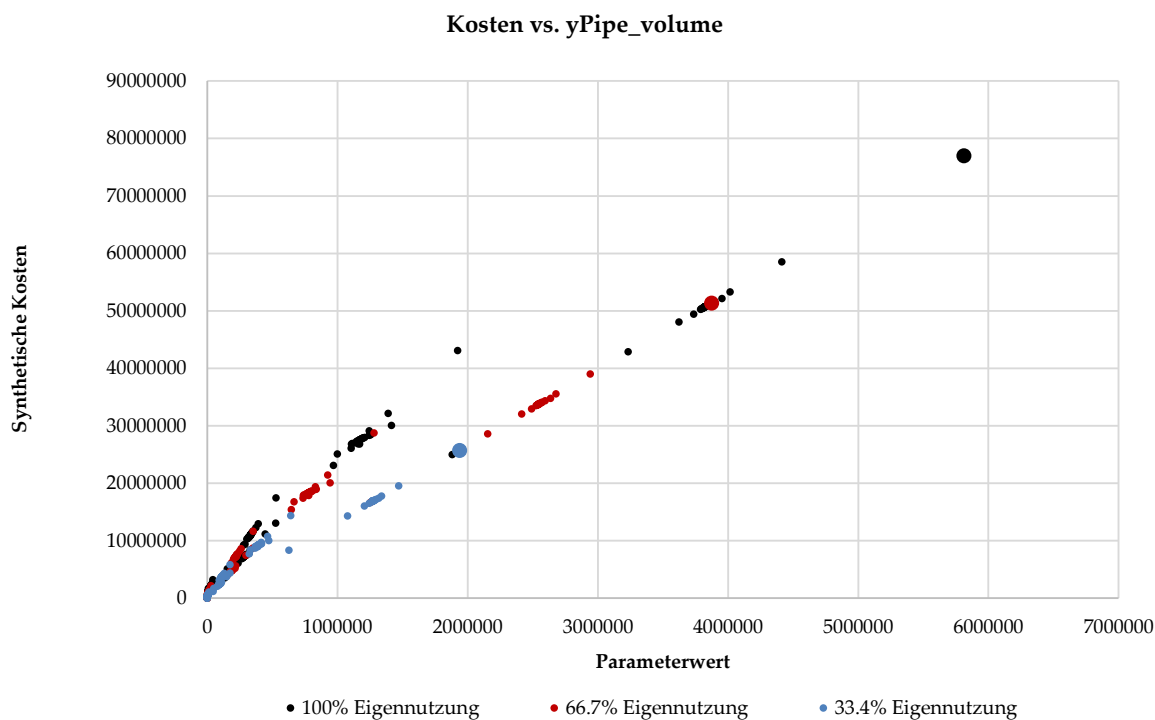
Quelle: Eigene Darstellung

Rohrvolumen

Abbildung 9 zeigt die Berechnungsergebnisse für den Parameter Rohrvolumen. Eine genaue Analyse zeigt, dass über alle Versorgungsaufgaben hinweg unter Ausnahme der Variation zur Transportentfernung, wo eine Längenverdoppelung eine Kostenverdoppelung ergibt, eine leichte Krümmung auszumachen ist. Wie erwartet, bewertet somit das Rohrvolumen längenbezogene Variationen der Versorgungsaufgabe mit linearem Zusammenhang und Variationen, welche die Kapazität der Leitungen betreffen, mit quadratischem Zusammenhang. Relativ gesehen ist dieser Effekt bei den untersuchten Variationen eher geringfügig bzw. kaum sichtbar.

Ein geringerer Eigennutzungsanteil wirkt sich beim Rohrvolumen proportional wie bei der inputorientierten Mantelfläche aus. Diesbezüglich ergibt sich ein Vorteil des Rohrvolumens gegenüber der Mantelfläche, indem sowohl Errichtungskosten als auch Kapazitätsanteile bei Fremdnutzung widerspruchsfrei abgebildet werden.

Abbildung 9: Erklärungsgehalt des Rohrvolumens

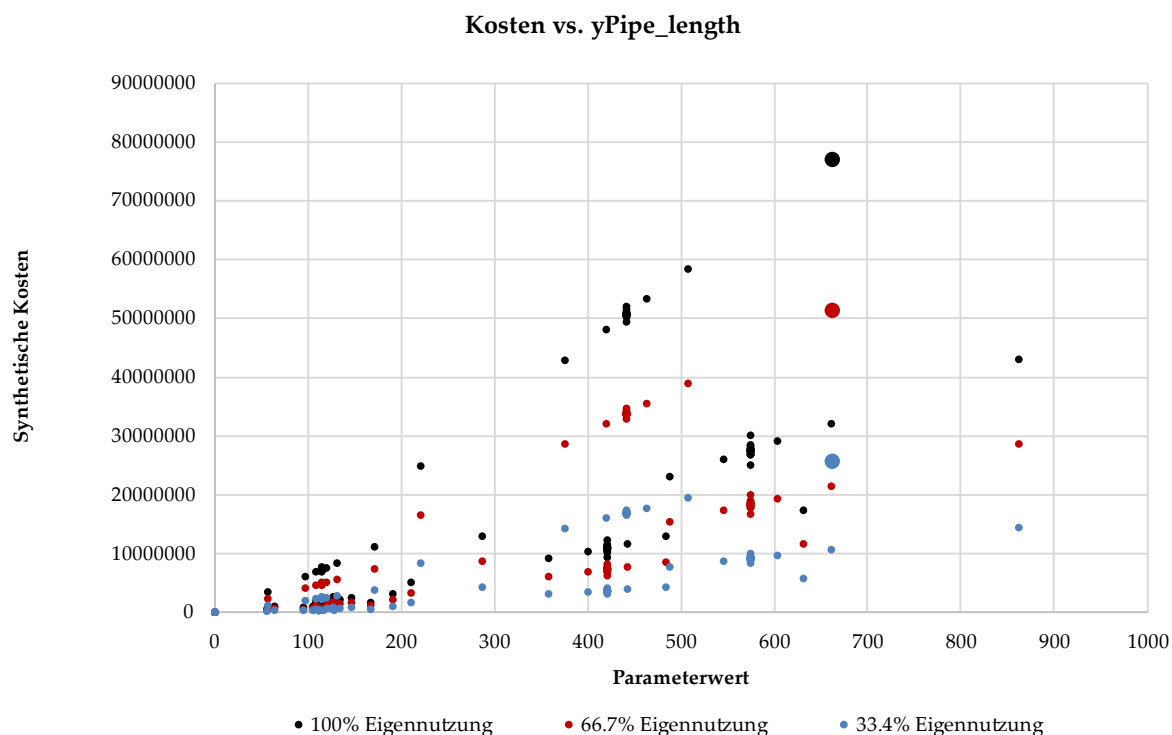


Quelle: Eigene Darstellung

Rohrleitungslänge

In **Abbildung 10** wird deutlich, dass die Rohrleitungslänge nicht für den Fremdnutzungsanteil korrigiert wird und somit unabhängig davon ist. Dies folgt der Begründung aus Abschnitt A.1.2 und gilt grundsätzlich für Parameter der Dienstleistungsdimension. Der Kundenanschluss bleibt unabhängig von der Fremdnutzung durch eine Leitung verbunden.

Abbildung 10: Erklärungsgehalt der Rohrleitungslänge

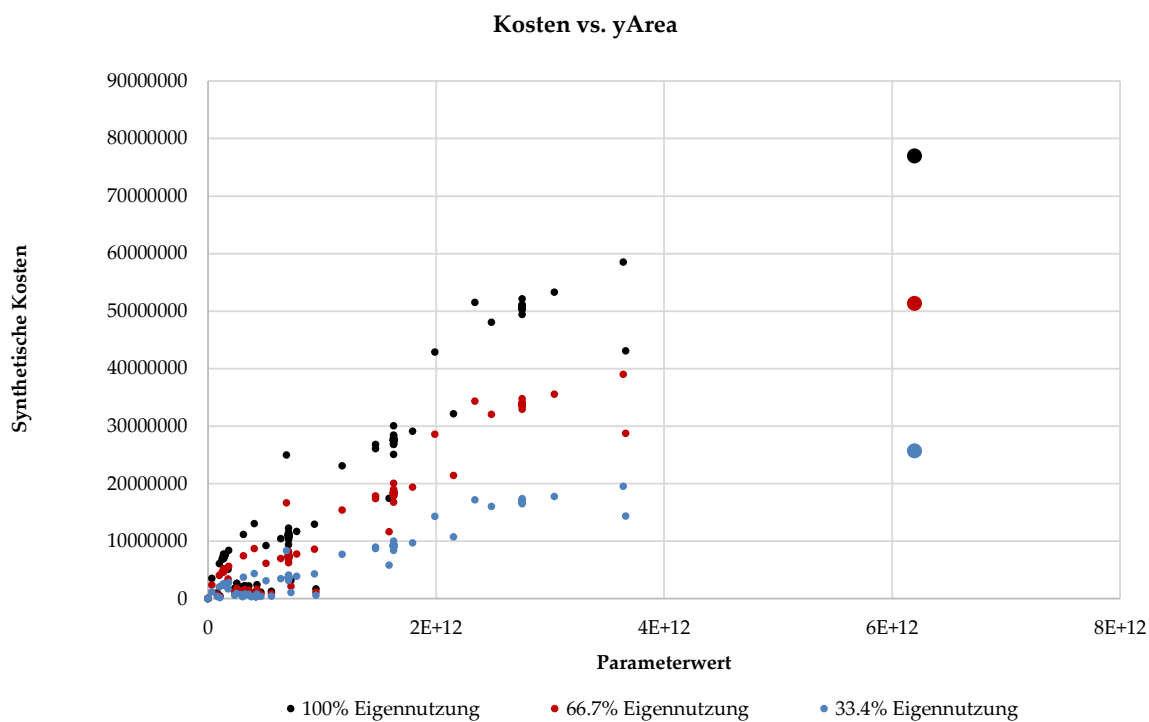


Quelle: Eigene Darstellung

Polygonfläche

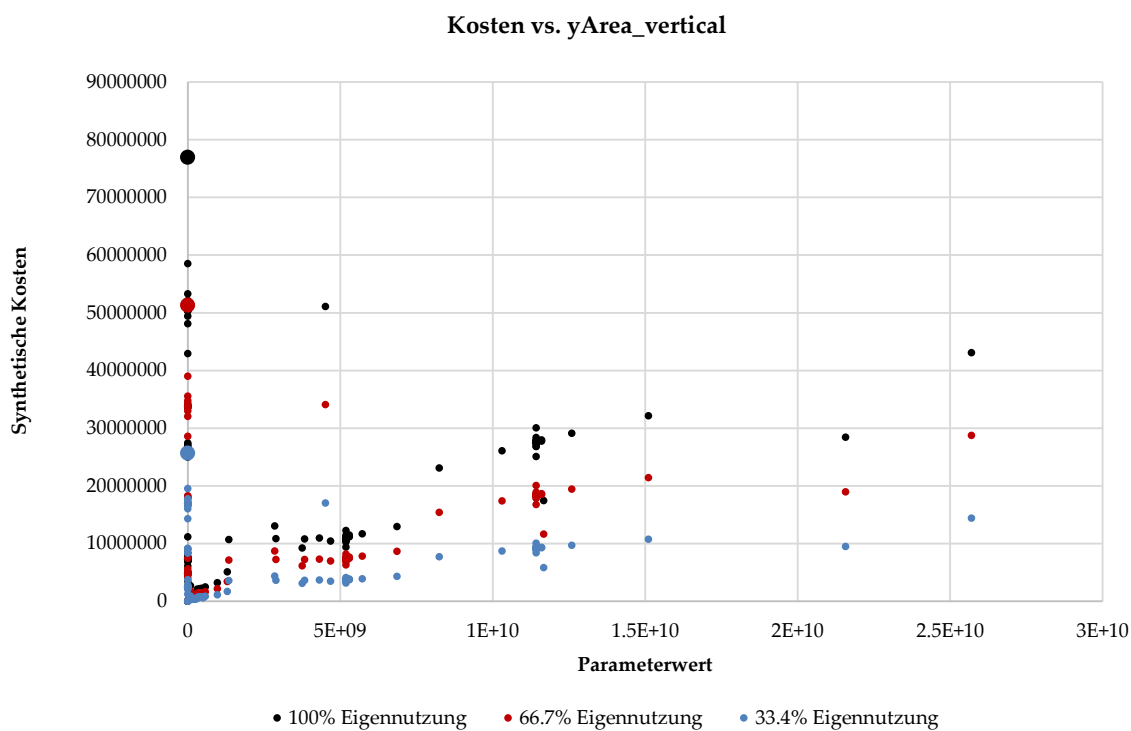
Fremdnutzungsanteile haben wie bei der Leitungslänge nur einen Einfluss auf die synthetischen Kosten, nicht aber auf den Parameterwert selbst, vgl. Abbildung 12. Dies gilt grundsätzlich auch für den neuen Parameter „vertikale Fläche“ mit dem Unterschied, dass ausschließlich transportierende Netze (ohne Ausspeisung in die Fläche) einen Parameterwert von Null zugewiesen erhalten, was auch im Datensatz der RP4 bei fünf von 16 Netzen der Fall ist.

Abbildung 11: Erklärungsgehalt der Polygonfläche



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 12: Erklärungsgehalt der vertikalen Fläche



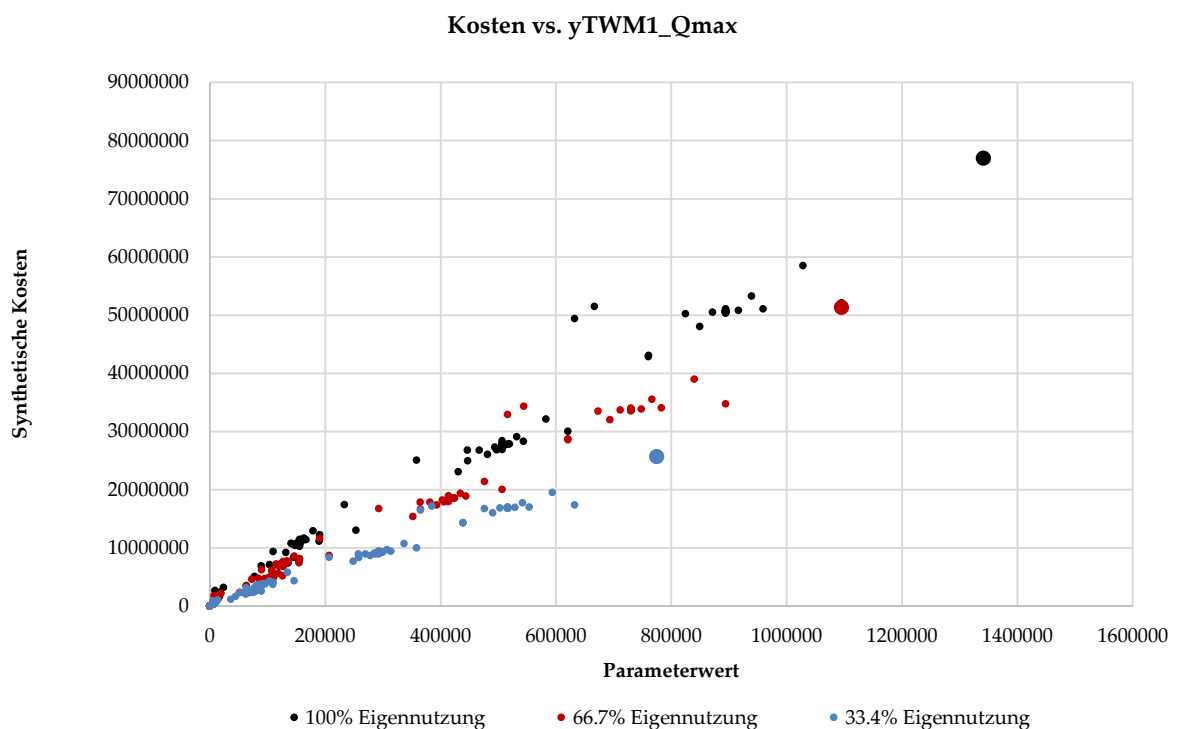
Quelle: Eigene Darstellung

Transportwurzelmoment

Abbildung 13 zeigt die Ergebnisse für das Transportwurzelmoment. Innerhalb der Netze werden sämtliche relevanten Variationen abgedeckt (vertikale Punkte-Linien um Mittelpunkt/Basiszenario im Gegensatz zu anderen Parametern wie z. B. bei vertikaler Fläche kaum sichtbar). Mengenänderungen werden wie beim Transportmoment überhöht – allerdings weit weniger ausgeprägt.

Bezüglich unterschiedlicher Konstellationen von Bruchteilseigentum liegen analog zur out-putorientierten Rohrmantelfläche unterschiedliche Steigungen vor, da sich der Parameter an der zu leistenden, exogen vorgegebenen Versorgungsaufgabe orientiert und daraus ableitet, welche Leitungsstränge mit welchem Rohrleitungsdurchmesser notwendig sind. Kostenseitige Verbundvorteile mit anderen Netzbetreibern werden demnach nicht im Parameter abgebildet, weshalb relativ gesehen mit Bruchteilseigentum ein besseres Parameter/Kostenverhältnis resultiert.

Abbildung 13 Erklärungsgehalt des Transportwurzelmoments



Quelle: Eigene Darstellung

3.3.3 Folgerungen

Das Fazit aus der dritten Regulierungsperiode gilt grundsätzlich weiterhin. Im Wesentlichen liegt eine sehr hohe Kostenkorrelation bei den endogenen Parametern Rohrmantelfläche und Rohrvolumen vor. Von den exogenen Parametern vermag das Transportwurzelmoment die relativen Kostenunterschiede zwischen Netzen und Variationen deren Versorgungsaufgabe Kosten am besten zu erklären. Ebenfalls guten Erklärungsgehalt haben die

Parameter Höchstlast, während die Polygonfläche die Kosten von «geraden» Netzen unterschätzt.²³

Die wesentlichen neuen Erkenntnisse zu unterschiedlichen Eigen- bzw. Fremdnutzungsanteilen werden nachfolgend anhand eines **illustrativen Beispiels** herausgearbeitet.

Beispiel: Zwei Netzbetreiber x und y bauen zusammen eine Leitung, damit beide je Kapazität v zur Verfügung haben zu Gesamtkosten von $\sqrt{2}$ ²⁴, d. h. je Netzbetreiber fallen gerundete Kosten von je 0.7 an. Netzbetreiber z baut parallel eine Leitung mit identischer Kapazität je Netzbetreiber zu Kosten von 1. $x+y$ stellt die Situation nach einem Merger von x und y dar: Die Leitungskapazität beträgt $2v$, die gemeinsamen Kosten 1.4.

Im Beispiel nutzen x und y mit dem gemeinsamen Bau Größenvorteile und bekommen so die Kapazität v je zu Kosten 0.7, während z für die gleiche Kapazität Kosten von 1 zahlt und somit diesbezüglich weniger kosteneffizient ist. In dieser Konstellation sollte also ein Vergleichsparameter für x und y das bessere Parameter/Kostenverhältnis aufweisen. Falls z jedoch nicht mit anderen Netzbetreibern kooperieren kann, z. B. weil er an einem anderen Ort Kunden bedient, sollte er deswegen nicht weniger effizient erscheinen.

Tabelle 10 zeigt die Effekte auf Parameterwerte und Kosten. Grün hinterlegt sind je Parameter die jeweils besten Parameter/Kostenverhältnisse («Unit Costs»). Netzbetreiber z wäre demnach bei einer DEA mit nur dem betreffenden Parameter weniger effizient, wenn das Rohrvolumen oder die outputorientierte Rohrmantelfläche verwendet würde, dito bei TM, TWM, Fläche, Punkten, Leitungslänge, Maschen, Verzweigungen, Arbeit oder Last. Nur bei der inputorientierten Mantelfläche würde z gleich effizient wie x und y erscheinen.

Würden x und y zu Netzbetreiber zu fusionieren, würde dieser neue Netzbetreiber gegenüber z bei Volumen, TM, Arbeit und Last effizienter erscheinen, wohingegen er gleich effizient wäre bei beiden Mantelfläche und beim TWM. Weniger effizient wäre er gemessen an Fläche, Punkten, Leitungen oder Anzahl Verdichtern, Reglern, Maschen, Verzweigungen.

²³ Vgl. Abschnitt 4.4.5 im Bericht EFG3.

²⁴ Zum Wurzelzusammenhang vgl. Anhang C.

Tabelle 10: Auswirkung auf Parameter und Unit Costs

NB	Kosten / Aufwand-parameter	Volumen, TM	Mantelfläche „output“	Mantelfläche „input“	TWM1/2	Fläche, Pkte, Leitungslänge, Anz.	Jahresarbeit, Höchstlast, TM	Verdichterleistung
x	0.7	v	m	0.7m	T	f,l,p	a,l	v
y	0.7	v	m	0.7m	T	f,l,p	a,l	v
z	1	v	m	m	T	f,l,p	a,l	v
x+y	1.4	2v	1.4m	1.4m	1.4t	f,l,p	2a,2l	2v
		Größer = besseres Parameter/Kostenverhältnis	Schiere Größe kein Ausdruck von Effizienz	Alle gleich effizient	Analog Mantelfläche „output“	Kapazität bewusst nicht angerechnet	Analog Volumen	(Annehmend keine Skaleneffekte)

Quelle: Eigene Darstellung

Aus den obigen Ausführungen lassen sich die Parameter mit Bezug auf ihre Behandlung unterschiedlicher Konstellationen von Fremdnutzungen in die vier Kategorien unterteilen, die in **Abbildung 14** dargestellt sind. Die erste Kategorie (z. B. TWM2) setzt outputorientiert an der Versorgungsaufgabe eines FNB an, und leitet hieraus die Parameterwerte ab unabhängig davon, ob eine Fremdnutzung besteht. Die zweite Kategorie (Rohrmantelfläche inputorientiert) bewertet mit einer inputorientierten Sichtweise den Anteil am gemeinsam genutzten Asset. In der dritten Kategorie führen diese beiden Sichtweisen zu demselben Parameterwert, gleichzeitig werden Größenvorteile nicht herausgerechnet. Bei der letzten Kategorie führt eine Fremdnutzung nicht zu geringeren Parameterwerten, was Netzbetreiber mit Fremdnutzungsanteilen eher bevorteilt. Aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht besteht per se keine eindeutige Präferenz für eine Kategorie von Parametern, entscheidend ist letztlich beim Effizienzvergleich das Zusammenspiel von Parametern unterschiedlicher Eigenschaften.

Abbildung 14: Wirkung von Fremdnutzungsanteilen auf Parameter

Parameter	Rohrmantelfläche bislang, TWM1, TWM2	Rohrmantelfläche inputorientiert	Volumen, TM, JA, JHL, Verdichterleistung, Nenndurchfluss	Fläche, Punkte, Leitungslänge, Anzahl Verdichter/Regler/Maschen/Verzweig.
Eigenschaft Fremdnutzung	Outputsicht: Welche Versorgungsaufgabe kann geleistet werden?	Inputsicht: Anteil am gemeinsamen Asset?	Input/Output kongruent, Größenvorteile wirken	Fremdnutzung irrelevant

Quelle: Eigene Darstellung

3.4 Qualitative Diskussion der Parameter aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht

Die Parameter werden in diesem Kapitel in der durch Tabelle 6 vorgegebenen Reihenfolge qualitativ diskutiert.

3.4.1 Rohrgeometrie

Leitungslänge

Die Kosten für den Bau einer Gasleitung sind im Bereich der für FNB üblichen Entfernungen proportional zur Länge. Die Leitungslänge ist damit ein wichtiger Kostentreiber und bildet die Ausdehnung des Netzes ab. Jedoch sind die bereitgestellte Kapazität sowie die Baukosten ebenfalls vom Durchmesser der Leitung abhängig. Damit vermag der Parameter die Kapitalkosten nicht abzudecken, sodass beim Einsatz der Leitungslänge in einem Effizienzvergleichsmodell ein geeigneter komplementärer Kapazitätsparameter erforderlich wäre. Die Leitungslänge ist daher der Dienstleistungsdimension zuzuordnen und vermag Kosten für die Anbindung von Punkten sowie Wartung der Leitungen abzubilden. Der Parameter wird aus diesem Grund nicht hinsichtlich der Fremdnutzungsanteile korrigiert.

Da ein Netzbetreiber die effektiv genutzte Leitungslänge beeinflussen kann ist dieser Parameter als „eher endogen“ einzuordnen.

Rohrleitungsvolumen

Die Bereitstellung von Kapazität als wichtige gaswirtschaftliche Leistung der FNB ist annähernd proportional zum Querschnitt der gebauten Rohrleitungen. Das Rohrleitungsvolumen als Produkt aus Querschnitt und Leitungslänge bildet damit die gaswirtschaftliche Leistung, eine Kapazität zum Ort des Kunden hin bereitzustellen, geeignet ab und deckt somit gleich zwei Dimensionen – Kapazität und Dienstleistung – ab.

Während die Baukosten einer Leitung bei gegebenem Durchmesser quasi-linear mit zunehmender Länge steigen, wachsen bei gegebener Länge dagegen die Baukosten mit abnehmenden spezifischen Kosten je zusätzlichem m^3 Rohrvolumen (das Rohrleitungsvolumen erhöht sich näherungsweise quadratisch mit dem Durchmesser, so dass der Durchmesser nur unterproportional – näherungsweise über die Wurzelfunktion – mit dem Volumen, steigt)²⁵.

Damit werden die Kosten von Rohrleitungen mit größerem Durchmesser, i. d. R. Rohrleitungen für horizontale Transite, durch den Parameter Rohrvolumen überproportional gegenüber Rohrleitungen mit kleinerem Durchmesser, i. d. R. für die vertikale Versorgung,

²⁵ Aufgrund normativer Beschränkung ist die Auswahl an Durchmessern einerseits auf eine übersichtliche Zahl begrenzt. Ein Ausbau erfolgt üblicherweise nicht graduell, sondern stufig gemäß vorgegebener Rohrdimensionen nach Din oder ANSI. Es ergibt sich somit in der Einzelfallbetrachtung ein sprungfixer Kostenverlauf für die steigende Bereitstellung von Transportkapazität. Betreibt ein Unternehmen jedoch eine Vielzahl von Leitungsabschnitten, so ist davon auszugehen, dass sich die sprungfixen Kosten beim Ausbau einzelner Abschnitte bei der Betrachtung einer großen Zahl von kleineren Ausbaumaßnahmen in einer Weise mischen, die zu näherungsweise gleichmäßig mit dem Ausbau steigenden Kapazität führen. Diese Überlegung findet ihre praktische Anwendung regelmäßig bei der Berechnung von Baukostenzuschüssen, bei deren Ermittlung ebenfalls mittlere Ausbaukosten aus einer Vielzahl einzelner „stufiger“ Ausbaumaßnahmen zur Überwindung jeweils lokaler erreichter Auslastungsgrenzen abgeleitet werden.

berücksichtigt. Dies entspricht auf der einen Seite in etwa den Verhältnissen bezüglich der bereitgestellten Kapazität, allerdings können auf der anderen Seite in der Funktion als Kostentreiber die Verhältnisse verzerrt werden.

Etwaige Fremdnutzungsanteile werden herausgerechnet, da durch Bruchteilsgemeinschaften Kapazitäten gemeinsam genutzter Leitungen ebenfalls anteilig aufgeteilt werden. Die Analyse der Auswirkungen verschiedener Fremdnutzungskonstellationen in Abschnitt 3.3 zeigt, dass beim Rohrvolumen im Gegensatz zur Mantelfläche die input- und outputorientierte Sichtweise kongruent sind, d. h. der Anteil am verbauten Durchmesser entspricht genau dem Anteil an der Kapazität.

Das Rohrleitungsvolumen wird über die real verbauten, in der Entscheidung der FNB liegenden Durchmesser gebildet und hat deshalb einen eher endogenen Charakter, da Netzbetreiber bei der Verlegung von Leitungen i. d. R. frei bezüglich der Bestimmung des Durchmessers sind. Dem Nachteil der Beeinflussbarkeit des Parameters steht der Vorteil gegenüber, dass das Rohrleitungsvolumen robust gegenüber Änderungen der Transportaufgabe ist und etwaige Anforderungen an die Resilienz der Netze durch redundante Kapazitäten abzubilden vermag.

Rohrleitungsmantelfläche

Die Rohrleitungsmantelfläche ergibt sich aus der Multiplikation von Länge einer Leitung und deren Umfang. Der Umfang, der die Kapazitätsdimension abbildet ist näherungsweise linear mit dem Durchmesser der Rundrohre verknüpft. Folglich trägt dieser aggregierte Parameter aufgrund der quasilinear steigenden Kosten den beiden Dimensionierungen Länge und Durchmesser angemessen Rechnung und bildet somit wie das Rohrvolumen die beiden Dimensionen Kapazität und Dienstleistung ab. Eine Verlängerung der Leitung wird kostenseitig in guter Näherung ebenso geeignet abgebildet wie die Veränderung des Durchmessers, sodass die Mantelfläche einen guten Kostentreiber darstellt. Dieser Punkt stellt den wesentlichen Unterschied zu Parametern dar, die näherungsweise linear mit der Leitungslänge und dem Querschnitt verbunden sind (z. B. Rohrvolumen oder Transportmoment). Allerdings wird durch die Gewichtung der Rohrleitungslänge mit dem Umfang die mit dem Querschnitt verbundene Kapazitätsbereitstellung als gaswirtschaftliche Leistung unterproportional abgebildet.

Analog zum Rohrvolumen werden bei der Rohrleitungsmantelfläche Fremdnutzungsanteile bereinigt. Dabei werden zwei unterschiedliche Methoden angewendet, die in einem input- und einem outputorientierten Parameter resultieren (vgl. Anhang A.2.1):

- Die **inputorientierte Mantelfläche** spricht den beteiligten Netzbetreibern den jeweiligen Anteil an der gesamten verbauten Fläche zu, sodass die Summe der so verteilten Mantelfläche gerade der Mantelfläche der Rohrleitung entspricht. Skalenvorteile durch Bruchteilsgemeinschaften bleiben so im Parameter „unberücksichtigt“ dahingehend, dass der Parameterwert im Vergleich zu einem Netzbetreiber, der die gleiche anteilige Kapazität alleine verbaut hat, tiefer ausfällt.

- Dagegen bezieht die **outputorientierte Mantelfläche** den eigengenutzten Anteil auf das Volumen bzw. die Kapazität der Rohrleitung und transformiert diese in eine hypothetische Mantelfläche, wie wenn der entsprechende FNB die Röhre alleine verlegt hätte. Skalenvorteile durch Bruchteileigentum werden dahingehend berücksichtigt, sodass der Parameter aufgrund des Wurzelzusammenhangs für Rohrleitungen im Bruchteileigentum größer als die inputorientierte Mantelfläche ausfällt. Durch dieses Vorgehen wird mehr Mantelfläche zwischen den BTG-FNB verteilt, als tatsächlich vorliegt.

So der Parameter Rohrleitungsmantelfläche vornehmlich eine Kostenorientierung und keine direkte Kapazitätsorientierung aufweisen soll, ergibt sich eine Präferenz für die inputorientierte Mantelfläche und umgekehrt. Bei Verwendung im Effizienzvergleich würde bei einem Modell mit outputorientierter Rohrmantelfläche die kostenneutrale Aufteilung eines Netzbetreibers in zwei Teile das Parameter-Kosten-Verhältnis beider Netzbetreiber erhöhen, ohne dass hierdurch die Effizienz effektiv gesteigert würde (vgl. auch Ausführungen hierzu in Abschnitt 3.3.3 oben). Insofern ergibt sich vorliegend eine Präferenz für die inputorientierte Mantelfläche.

In der Rohrleitungsmantelfläche ist je Leitungsabschnitt die Leitungslänge mit dem Durchmesser verknüpft. Der Parameter weist damit im Vergleich zur Leitungslänge wie das Rohrvolumen einen vergleichsweise endogeneren Charakter auf. Damit einher gehen die im Abschnitt „Rohrvolumen“ genannten Vor- und Nachteile.

3.4.2 Jahresarbeit

Der Parameter Jahresarbeit ist der Transportdimension zuzuordnen. Während die Kapitalkosten für die Errichtung von Transportmöglichkeiten anfallen und die Abnutzung der vorgehaltenen Transportkapazität vorrangig über den Zeitablauf erfolgt und nur geringfügig von der tatsächlichen Nutzung abhängt, beeinflusst die tatsächlich über ein System transportierte Energiemenge im Wesentlichen nur die Betriebskosten. Das Niveau der Betriebskosten für eine gegebene Transportaufgabe hängt jedoch nicht unwesentlich von dem vorgehaltenen System ab. Insbesondere ergeben sich mit zunehmenden Durchmessern geringere Druckverluste, so dass für den Transport ceteris paribus Verdichterleistung eingespart werden kann. Es besteht somit ein Trade-Off zwischen den Errichtungs- und Betriebskosten, dessen Optimum wesentlich durch die tatsächlich transportierte Jahresarbeit beeinflusst wird. Es ist also nicht zu erwarten, dass die Austauschbeziehung zwischen Errichtungs- und Betriebskosten durch ein festes Verhältnis gekennzeichnet ist. Vielmehr wird ein Gesamtkostenoptimum bei dauerhaft hoch ausgelasteten Leitungen regelmäßig durch Leitungen mit größeren Querschnitten – also höheren Investitionskosten – und bei nur gelegentlich hoch ausgelasteten Leitungen eher durch eine entsprechende Druckerhöhung erreicht.

Dem Parameter Jahresarbeit alleine fehlt es in seiner Aussagekraft an der Beschreibung der räumlichen Ausdehnung des Netzes. Aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht kann der Parameter Jahresarbeit daher nur bei zusätzlicher Berücksichtigung wesentlicher Kapazitäts- bzw. Leitungseigenschaften als Maßstab für den Betriebsaufwand Verwendung finden.

Die Jahresarbeit kann durch den Parameter der Summe aller Entry-Arbeit oder Exit-Arbeit beschrieben werden. Der Unterschied beider Parameter kann in einem System mit perfekter Übersicht über die Transportflüsse auf Treibenergieaufwand und Leckagen zurückgeführt werden. Allerdings können wie in Kapitel C diskutiert weitere Ursachen Schiefstände zwischen Entry- und Exit-Arbeit hervorrufen, insbesondere das Vorhandensein komplexer Bruchteilsgemeinschaften, da der Parameter um Fremdnutzungsanteile bereinigt wird. Diese führen dazu, dass zwar in Summe über alle FNB die Parameter Jahresarbeit-Entry und Jahresarbeit-Exit in etwa ausgeglichen sind, bzgl. einzelner FNB jedoch teils signifikante Abweichungen resultieren.

Die Parametergruppe Jahresarbeit kann weiterhin zwischen der horizontal und der vertikal transportierten Arbeit differenzieren, um der Heterogenität der Transportaufgaben der FNB Rechnung zu tragen. Horizontale Transporte, also Transporte, die überwiegend dem Transit zu benachbarten Netzbetreibern dienen, erfolgen in der Regel über großskaligere Pipelines, durch die Skaleneffekte beim Transport realisiert werden können. Allerdings kann es zu zusätzlichem Aufwand durch Verdichtungsbedarf oder Flexibilisierung der Transportrichtungen („Quellendiversifizierung“) führen, um die Versorgung auch aus zweiter oder dritter Quelle technisch zuverlässig zu gewährleisten. Der Zusatzaufwand „auch verteilen-der“ FNB bildet sich aus ingenieurwissenschaftlicher Betrachtung vor allem auf zweifache Weise ab: Kosten für die Verlegung kleinerer bzw. zusätzlicher Rohrleitungen zur Anbindung der nicht unmittelbar an den Haupt-Transportleitungen gelegenen Ausspeisepunkte (Stichwort Skaleneffekte) sowie Kosten für eine erhöhte betriebliche Flexibilität. Horizontale und vertikale Arbeit sind zueinander komplementäre Parameter und sollten gemeinsam oder mit angemessenem Ersatz für die fehlende Transportdimension durch einen alternativen Parameter in einem Effizienzmodell vorherrschen.

Die Jahresarbeit besitzt einen exogenen Charakter. Dadurch, dass der Parameter sich auf die Transportaufgabe im Basisjahr bezieht, ist er nicht robust gegenüber Änderungen der Transportaufgabe (z. B. Corona-Pandemie) und vermag die Vorhaltung redundanter Transportwege²⁶ nicht abzubilden.

3.4.3 Last: (zeitgleiche) Netzlast und (zeitungleiche) Jahreshöchstlast

Die Errichtungskosten der einzelnen Leitungsabschnitte, in Aggregation also auch die eines ganzen FNB-Netzes, werden dominiert durch die Auslegung in Abhängigkeit der maximal zu transportierenden Leistungen, welche wiederum eng mit den Rohrleitungsquerschnitten korreliert sind. Die Jahreshöchstlast besitzt anders als die Rohrleitungsparameter einen exogenen Charakter und beschreibt die Kapazitätsdimension. Die Parameter der Last beschreiben die maximale Transportaufgabe im Basisjahr, sodass die Parameter analog zur

²⁶ Hierbei wird vorausgesetzt, dass deren Bau von allen Seiten als notwendig angesehen wurde und diese effizient errichtet und betrieben werden.

Jahresarbeit weniger robust gegenüber Änderungen der Transportaufgabe sind und die Vorhaltung redundanter Transportwege²⁷ je nach Netznutzung nicht abbilden können.

Die Parametergruppe Jahreshöchstlast kann durch den Parameter zeitgleiche Jahreshöchstlast („Netzlast“) sowie zeitungleiche Jahreshöchstlast jeweils für die Entry- und Exit-Seite gebildet werden. Während bei der zeitgleichen Jahreshöchstlast das Maximum des Summenlastgangs der Entry- bzw. Exit-Seite betrachtet wird, wird bei der zeitungleichen Jahreshöchstlast die Summe aller Maximalwerte genutzt. Für eine Auslegung eines Leitungssystems kann mit einem gewissen Ausgleich durch Gleichzeitigkeitseffekte²⁸ gerechnet werden. Es lassen sich in einem je FNB aggregierten Parameter ohne Betrachtung der räumlichen Struktur keine eindeutigen Aussagen über die Vorteilhaftigkeit der zeitgleichen oder zeitungleichen Parameter ableiten. Liegen beispielsweise zwei Entrys räumlich weit voneinander entfernt, ist für die Netzauslegung die zeitungleiche Jahreshöchstlast geeigneter, liegen beide Punkte dagegen am gleichen Ort, ist die zeitgleiche Jahreshöchstlast adäquater. Diese Unterscheidungen können nur in mathematisch komplexeren Parametern wie dem TM/TWM berücksichtigt werden. Insgesamt ist gerade bei Netzen mit diversifizierten Quellen und inhomogenen Senken die zeitungleiche Jahreshöchstlast der zeitgleichen Jahreshöchstlast vorzuziehen.

Analog zur Jahresarbeit kann bei der zeitungleichen Jahreshöchstlast zwischen den beiden zueinander komplementären Dimensionen horizontale und vertikale Last unterschieden werden, um durch die Differenzierung in zwei Parametern die Heterogenität der Netzbetreiber besser berücksichtigen zu können.

3.4.4 Anschlüsse: Anzahl Ein- und Ausspeisepunkte

Auch wenn die Systemkosten eines FNB wesentlich durch die Länge und Durchmesser der Rohrleitungen bestimmt werden, so entstehen darüber hinaus Kosten, die durch die **Anzahl der Ein- und /oder Ausspeisepunkte** getrieben sind. Diese fallen netzbezogen beispielsweise für Verzweigungen zur Erschließung der Punkte, Kuppelanschlusspunkte und Sicherheitseinrichtungen etc. sowie operativ beispielsweise für die Abwicklung und Abrechnung von Kapazitäten an.

Durch die **Anzahl der Ausspeisepunkte** entsteht auch der Hauptteil der Kosten für erhöhte betriebliche netzseitige Flexibilität. Da im Gasnetz die Errichtungskosten von Leitungen deutlich die übrigen Kosten dominieren, kommt der Parameter als ergänzender Parameter in Betracht.

²⁷ Siehe vorherige Fußnote 26.

²⁸ Gleichzeitigkeitseffekte ergeben sich durch die Aggregation verschiedene Lastgänge. Die Maximalwerte der Lastgänge werden nicht zeitgleich erreicht.

Die **Anzahl der Einspeisepunkte** (die i. d. R. auch Ausspeisepunkte sind) variiert im Grundsatz weniger zwischen FNB mit stärkerer verteilenden und transitierenden Transportaufgabe und ist daher zur Abbildung der Granularität weniger geeignet als die Anzahl der Ausspeisepunkte.

Da bei verteilter Transportaufgabe die Anzahl der Ausspeisepunkte i. d. R. gegenüber der Anzahl an Einspeisepunkten dominiert, unterscheidet sich der Parameter **Anzahl Ein- und Ausspeisepunkte** (Netzkoppel-/anschlusspunkte – NKP/ NAP) insbesondere bei Netzbetreibern mit vielen angeschlossenen Endkunden weniger stark von der Anzahl der Ausspeisepunkte, so dass die Überlegungen zur Anzahl der Ausspeisepunkte übernommen werden können. Bei eher transitierender Transportaufgabe besteht demgegenüber relativ ein größerer Unterschied zwischen der Anzahl der Ausspeisepunkte und der Anzahl aller Punkte. Jedoch ist die Anzahl der Punkte bei einer solchen Versorgungsaufgabe ohnehin zur Beschreibung der gaswirtschaftlichen Leistung eines stark transitierenden FNB im Allgemeinen weniger geeignet.

In Bruchteilsgemeinschaften gemeinsam genutzte Punkte werden nicht anteilig, sondern vollständig berücksichtigt. Bei der Parametergruppe ist von einem exogenen Charakter auszugehen. Der Parameter ist robust gegenüber Änderungen der Transportaufgabe.

3.4.5 Fläche

FNB erschließen mit ihren Netzen die von ihnen versorgten Gebiete und verteilen die transportierten Mengen teilweise auch in diesen. Dabei nimmt die Ausdehnung des Netzes Einfluss auf die notwendigen Leitungslängen und damit auf die Kosten, wobei wiederkehrend ähnliche Netzstrukturen für vergleichbare Versorgungsaufgaben genutzt werden. Es ist daher plausibel, dass die Netzkosten gut mit der Fläche des versorgten Gebietes korrelieren. Die Parameter der Gruppe Fläche werden der Dienstleistungsdimension zugeordnet (vgl. Ausführungen in Abschnitt 3.2.2).

Zur Bestimmung der gaswirtschaftlich erschlossenen Fläche hat sich die **Polygonfläche** etabliert (zur Berechnung vgl. Anhang A.2.6). Die so bestimmte Fläche umfasst z. T. für unterschiedliche FNB in deutlich unterschiedlichem Umfang Flächenanteile ohne sichtbaren gaswirtschaftlichen Bezug zu den von der Regulierung beaufsichtigten Tätigkeiten. Insbesondere sind hier Wasserflächen, Flächen ohne leitungsgebundene Gasversorgung und – aufgrund der auf die deutsche Versorgung orientierten Regulierung – Polygonflächenanteile im Ausland zu nennen. Ein weiterer Kritikpunkt zeigt sich am Beispiel langgestreckter Netze. Der „Krümmungsgrad“ einer langgestreckten Leitungsverbindung über mehrere hundert Kilometer hat offensichtlich keinen Einfluss auf die netzwirtschaftliche Leistung – insbesondere, sofern die Verbindung im Wesentlichen nur für den Gastransport über die komplette Leitung genutzt wird (reiner Transit). Dies gilt aber näherungsweise auch dann, wenn über Ausspeisepunkte auf der Leitung nachgelagerte Netzgebiete oder – aus Sicht des FNB gleichwertig bei gleichartigem Bezug – Einzelverbraucher versorgt werden. Die Polygonfläche hingegen liegt zwischen „Null“ (bei grader Leitungsverbindung) und hohen

Werten (bei starker Krümmung). Ein solcher „Bananeneffekt“ begründet aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht zunächst gewisse Zweifel an der grundsätzlichen Eignung dieses Parameters als Kostentreiber. Mit Blick auf die Beschaffenheit der Netze ist jedoch auch sichtbar, dass die langgezogenen Netze tendenziell von deutlich geringerer Komplexität sind als die übrigen Netze. Insofern kann die Polygonfläche gegebenenfalls die Komplexität der Netze abzubilden, was den Bananeneffekt relativieren würde.

In RP3 wurde bei der Polygonfläche die Parameter yArea und yArea_All unterschieden. Während beim Parameter yArea_All die Polygonfläche um alle Punkte unabhängig von ihrer Teilnetzzugehörigkeit gebildet wird, erfolgt beim Parameter yArea eine teilnetzscharfe, je Gasart überlappungsbereinigte, Bildung. Die Berücksichtigung teilnetzscharfer Polygonfläche reduziert bereits die grundlegende Schwäche der Polygonfläche, auch nicht durch den FNB erschlossene Flächen zu erfassen (s. o.). Um den Aspekt der tatsächlich versorgten Fläche und damit einen möglichen Verteilcharakter der FNB weiter zu fokussieren, wird in dieser Regulierungsperiode zusätzlich die **Polygonfläche der vertikalen Ausspeisepunkte** gebildet. Dieser Parameter berücksichtigt dabei teilnetzscharf nur die Polygonfläche, die durch Ausspeisepunkte nachgelagerter Verteilernetze und Letztverbraucher aufgespannt wird. Dem Parameter liegt die Annahme zugrunde, dass die gaswirtschaftliche Leistung horizontaler Transite der FNB weniger über eine (zweidimensionale) Fläche, sondern viel mehr über eine eindimensionale Strecke zu beschreiben ist. Dagegen weist die Versorgung vertikaler Punkte – wenn auch nicht uneingeschränkt – schon deutlich eher einen flächenbezogenen Charakter auf. Da der Parameter durch die Beschränkung auf vertikale Punkte nicht die gaswirtschaftliche Leistung jedes FNB abzubilden vermag, ist dieser Parameter möglichst durch komplementäre Parameter, welche horizontale Transporte beschreiben, zu ergänzen. Durch den Parameter vertikale Fläche können die beschriebenen Schwächen bei der Berücksichtigung tatsächlich nicht erschlossener Gebiete reduziert, jedoch nicht vollständig vermieden werden, da bei Netzbetreibern mit mehreren „vertikalen Teilgebieten“ die Fläche, die zwischen diesen Gebieten durch rein horizontalen Transport aufgespannt wird, ebenfalls Teil der versorgten Fläche wird. Hierdurch ist der Parameter nicht frei von den Kritikpunkten, die bereits für die Polygonfläche gelten.

Mit Blick auf die Beeinflussbarkeit gilt, dass sich die Polygonfläche eines Unternehmens durch eine Umwandlung von kurzfristigen Nutzungs- in entsprechende länger laufende Pachtverträge und die Vereinbarung von Bruchteilseigentum²⁹ durch das regulierte Unternehmen auch selbst beeinflusst werden kann – die insbesondere dann, wenn bei der Bestimmung der Polygonfläche die physikalische Verbundenheit der Netze nicht beachtet wird (Parameter yArea_all). Es handelt sich daher bei den Polygonflächenparametern, wenngleich maßgeblich durch exogen vorgegebene Anschlüsse bestimmt, um anteilig auch endogen beeinflussbare Parameter.

²⁹ Die Parametergruppe Polygonfläche wird nicht um Fremdnutzungsanteile bereinigt.

3.4.6 Verdichter: Anzahl, Leistung, Treibenergie

Verdichter sind Teil des Mengengerüsts der FNB und stellen nach den Rohrleitungen einen bedeutenden Bestandteil der FNB-Kosten dar.

- Die **Anzahl der Verdichter** ist als Kostentreiber eher ungeeignet, da die notwendige Verdichterleistung sowohl von mehreren kleineren oder wenigen größeren Anlagen erbracht werden kann und diese Auswahl weitestgehend endogen durch den FNB erfolgt. Die Anzahl der Verdichter kann nicht eindeutig der Dienstleistungs- oder Kapazitätsdimension zugeordnet werden. Fremdnutzungsanteile werden bei der Verdichteranzahl daher herausgerechnet.
- Die **Verdichterleistung** dagegen skaliert mit der Anlagengröße, die wiederum mit den Kosten der Anlagen skaliert. Sie beschreibt damit die Auslegung des Verdichters und kann der Kapazitätsdimension zugeordnet werden. Verdichteranzahl und Verdichterleistung sind robust gegenüber Änderungen der Transportaufgabe. Die jährliche **Treibenergie** stellt einen Parameter der Transportdimension dar und beschreibt den für den Betrieb des Verdichters notwendigen Aufwand für den Antrieb des Verdichters im Basisjahr. Dieser Parameter ist nicht robust gegenüber Änderungen der Transportaufgabe. Für die Parameter Verdichterleistung und Treibenergie werden Fremdnutzungsanteile herausgerechnet.

Im Rahmen der Netzplanung besteht ein Trade-Off zwischen der Nutzung größerer Rohrdurchmesser gegenüber der Installation zusätzlicher Verdichterkapazität, dessen Kostenoptimum von der Versorgungsaufgabe abhängt. Die Verwendung der Verdichterleistung oder der Treibenergie im Parametersatz bietet die Möglichkeit, auftretende Kosten durch Verdichter grundsätzlich zu berücksichtigen.

Alle drei Parametervarianten zum Verdichter besitzen einen eher endogenen Charakter. Damit ist insbesondere die Verdichterleistung, aber auch die Treibenergie grundsätzlich eine stimmige Ergänzung – insbesondere zu anlagenorientierten Parametern wie Rohrmanntelfläche oder Rohrvolumen. Allerdings kann die Parametergruppe Verdichter auch einen zusätzlichen Kostenerklärungsbeitrag zu den exogenen Parametern der Transport(wurzel)momentgruppe liefern³⁰. Die Verdichterleistung als auslegungsbezogener Parameter ist aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht jedoch der Treibenergie vorzuziehen. Die Treibenergie wiederum ist geeigneter als die Anzahl Verdichter.

³⁰ Abweichung zur Argumentation aus RP3: Aggregierte Parameter wie das Transportwurzelmoment, die auf die tatsächlich maximal transportierte Gasmenge $Q_{\max}$ setzen, sind zwar „technologieoffener“ bezüglich eines Trade-Offs zwischen Rohrdurchmesser und Verdichterleistung, eine ergänzende Berücksichtigung der Verdichterleistung zum Transport(wurzel)moment liefert allerdings trotzdem einen zusätzlichen Erklärungsbeitrag. Dieser resultiert aus dem Verdichtungsaufwand, der aus der schieren Netzgröße und Transportkapazitäten resultiert, welcher nicht im Rahmen der aggregierten Parameter explizit oder implizit abgebildet wird.

3.4.7 Regler: Anzahl und Nenndurchfluss

Regler stellen neben Rohrleitungen und Verdichtern einen weiteren Teil des Mengengerüsts der Fernleitungsnetze dar und beeinflussen damit die Kosten eines FNB direkt.

Analog zum Verdichter wird bei den Reglern zunächst die **Anzahl der Regler** als Parameter gebildet. Diese ist ebenfalls als Kostentreiber eher ungeeignet, da die Reglergröße nicht innerhalb dieses Parameters erfasst bzw. differenziert werden kann. Die Anzahl der Regler wird der Dienstleistungsdimension zugeordnet, weshalb die Fremdnutzungsanteile nicht herausgerechnet werden.

Als auslegungsbezogener Parameter wird der **Nenndurchfluss der Regler** als Summe der Nenndurchflüsse aller Regler gebildet. Dieser Parameter kann damit der Kapazitätsdimension zugeordnet werden. Der Parameter wird zudem um Fremdnutzungsanteile bereinigt. Die auslegungsabhängigen Kosten für Investition und Betrieb von Reglern stellt nach den Rohrleitungen und den Verdichtern die nächstgrößte Kostenposition des netzbezogenen Mengengerüsts dar. Der Nenndurchfluss ist jedoch nicht geeignet, die Kapazität des gesamten Netzes abzubilden. Zum einen sind die Eigentumsverhältnisse zwischen vor- und nachgelagerten FNB historisch gewachsen und folgen damit keiner Systematik. Zum anderen sind Regler nicht gleichmäßig im Netz verteilt. Der Parameter ist damit nicht als Substitut für Parameter wie das Rohrvolumen, die Jahreshöchstlast oder auch die Verdichterleistung zu verstehen, sondern als etwaiger zusätzlicher Parameter, der das Anlagen-Mengengerüst des FNB präzisiert.

Beide Reglerparameter besitzen allerdings analog zu Rohrleitungen und Verdichtern damit einen eher endogenen Charakter, da diese durch den FNB (wenngleich nicht frei) beeinflussbar sind.

3.4.8 Transportmoment

Das Transportmoment ist ein aggregierter Parameter aus (maximal) transportierter Gasmenge (Leistung bzw. Arbeit) und Transportdistanz.

Bezüglich einer Verwendung der in Summe transportierten Gasmenge (Arbeit, Q_{jahr}) oder der maximal transportierten Gasmenge (Leistung, Q_{max}) ist folgendes zu bedenken: Leistungsgebundene Transporte sind durch vorwiegend kapazitätsabhängige Kosten geprägt; eine unterschiedliche Intensität der Nutzung führt zu einer vergleichsweise geringen Variation der Gesamtkosten. Damit besteht bei Ferngasleitungen ein weniger stark ausgeprägter kausaler Zusammenhang zwischen der transportierten Arbeit und den Gesamtkosten und – eine hohe Auslastung des Netzes im Starklastfall vorausgesetzt – ein deutlich stärker ausgeprägter kausaler Zusammenhang zwischen der maximal transportierten Leistung (und der dafür notwendigen Auslegung des Netzes) und den Gesamtkosten des Systems. In dem Sinn ist das Transportmoment gebildet mit Leistung (Kapazitätsdimension) seiner Entsprechung mit Arbeit (Transportdimension) vorzuziehen.

Soweit FNB beim Leitungsbau bezüglich der freien Trassenwahl beschränkt sind, kann dies berücksichtigt werden, indem für die Transportdistanz die reale Distanz (RD) anstelle der

vereinfachenden Luftlinienentfernung (Luftliniendistanz – LD) gewählt wird. Letztere ist im Normalfall aufgrund exogener geologischer und genehmigungsrechtlicher Faktoren praktisch nicht realisierbar. Daher sollte die Realdistanz der Luftliniendistanz vorgezogen werden.

Das Transportmoment hat exogenen Charakter. Die Varianten mit Luftliniendistanzen (y -Transportmoment_Qmax_LD, y Transportmoment_Qyear_LD) sind exogener als deren Entsprechungen mit realen Distanzen (..._RD), denen die grundsätzlich endogenen gemeldeten Leitungslängen zugrunde liegen. Da bei der Transportmoment-Bildung nicht benötigte Leitungsabschnitte implizit mit Null bewertet werden, werden die RD-Parameter y -Transportmoment_Qmax_RD und y Transportmoment_Qyear_RD ihrerseits exogener eingestuft als der Parameter Leitungslänge.

Das Transportmoment gebildet mit Leistung kann als exogenes Pendant zum eher endogenen Parameter Rohrvolumen verstanden werden. Er bildet Kapazitäten über Transportentfernungen bezogen auf die im Basisjahr vorherrschenden Jahreshöchstlasten ab und bezieht sich damit nicht auf die durch den FNB vorgenommene tatsächliche Auslegung. Allerdings kommt es analog zur Diskussion Rohrvolumen vs. Rohrmantelfläche (vgl. 3.4.1) beim Transportmoment zu einer überhöhten Gewichtung der Kapazitäten bezogen auf deren Kostenwirkung, da aufgrund von Skaleneffekten die Kosten eher quasi-linear mit dem Durchmesser als dem Leitungsquerschnitt (der wiederum quasi-linear mit der Kapazität skaliert) skalieren.

Der Parameter Transportmoment basiert auf der Jahresarbeit bzw. Last und bildet die Verhältnisse im Basisjahr ab. Insbesondere kann durch die Zielfunktion, die Minimierung der Transportdistanzen und Transportmengen – und damit implizit der Leitungsbaukosten –, nur die Wirtschaftlichkeit als Zielgröße berücksichtigt werden. Aspekte der Versorgungssicherheit und Resilienz der Netze durch redundante Kapazitäten, die ebenfalls für die Netzplanung relevant sind, können nicht abgebildet werden. Weiter können bei der Bildung mit Arbeit (Qjahr) durch die Betrachtung durchschnittlicher Lastsituationen nicht alle auslegungsrelevanten Belastungssituationen abgebildet werden.

Bei der Berechnung der Transportmomentparameter werden die punktbezogenen Größen basierend auf Jahresarbeit und Last nur die Eigennutzungsanteile berücksichtigt, sodass der Parameter damit insgesamt um Fremdnutzungsanteile bereinigt ist. Dieser Umstand, aber auch weitere Ursachen (vgl. Kapitel C) können zu Schiefständen zwischen der Entry- und Exit-Seite eines Teilnetzes führen, die eine Skalierung und damit Verzerrung (Überschätzung) des Parameters zur Folge haben.

3.4.9 Transportwurzelmoment

Das **Transportwurzelmoment 1 (TWM1)** wurde in RP3 eingeführt. Es greift die Grundideen des Transportmomentes auf, aggregiert die auch dort beteiligten Teilparameter jedoch auf eine Weise, die dem genähert kostenlinearen Zusammenhang der einzelnen Leitungsabschnitte sowohl von der Transportdistanz sowie dem Durchmesser bestmöglich

Rechnung trägt. Dies geschieht durch die Berücksichtigung der Wurzelfunktion bei Leistungen im Rahmen des TWM Berechnungsalgorithmus. Wie das Transportmoment besitzt dieser Parameter einen exogenen Charakter, wobei das Transportwurzelmoment die effektiv benötigten Leitungsdurchmesser besser abbildet bzw. ein exogenes Maß für die benötigten Leitungsdurchmesser darstellt. Das TWM kann damit als exogenes Pendant zum eher endogenen Parameter Rohrleitungsmantelfläche verstanden werden. Dabei kann das TWM der Heterogenität der Netzbetreiber besser Rechnung tragen, da es zur Kompensation von Skaleneffekten durch die Wurzelbildung kommt. So können sowohl Transit- als auch Versorgungstransportaufgaben (horizontale und vertikale Transportaufgaben) geeignet abgebildet werden.

Analog zum TM können auch beim TWM keine redundanten Kapazitäten zur Förderung der Resilienz des Netzes abgebildet werden, da die Zielfunktion die Auslegung des Netzes bezogen auf die Transportaufgabe im Basisjahr minimiert. So werden zwar nicht benötigte (ineffiziente) Rohrleitungen identifiziert, jedoch werden auch – so vorhanden und im Basisjahr nicht genutzt – für die Versorgungssicherheit relevante (effiziente) Rohrleitungen ggf. als ineffizient identifiziert.

Der Umgang mit Fremdnutzungsanteilen erfolgt analog zum TM. Ebenfalls analog ergeben sich Verzerrungen in der TWM Berechnung durch Schiefstände zwischen Entry- und Exit-Seite.

Neben der Bildung mit Arbeit (Q_{Jahr}) und der zeitungleichen Jahreshöchstlast (Q_{max}) kann das TWM1 auch mit der zeitgleichen Jahreshöchstlast (Q_{sim}) gebildet werden. Die Bildung mit Q_{Jahr} entspricht einer über das Jahr gleichmäßigen Leistungsbetrachtung mit maximalen Benutzungsstunden und hat damit vergleichbare Schwächen zum TM, weshalb diesem nur eine partielle Eignung zugesprochen wird. Die Bildung mit Q_{sim} bildet die notwendige Auslegung des Netzes unvollständig ab, während in der Praxis mehrere Gasflussszenarien auslegungsrelevant sein können. Die Bildung mit Q_{max} dagegen vermag keine strömungsmechanische (zeitungleiche) Konkurrenz von Punkten in der Nutzung von Transportkapazitäten abzubilden, sodass es zu einer Überschätzung des Transportbedarfs im TWM Q_{max} kommen kann.

In RP4 erfolgte die Weiterentwicklung des TWM (**TWM2**), das aktiv mit Schiefständen zwischen der Entry- und Exitseite eines Teilnetzes umgeht (vgl. Kapitel C). Die ingenieurwissenschaftliche Einschätzung des TWM2 entspricht im Grundsatz derer des TWM1 gebildet mit Q_{max} . Gegenüber dem TWM1 ergeben sich zusätzliche Vor- aber auch Nachteile. Der Vorteil des TWM2 ist, dass an allen Entry- und Exitpunkten die tatsächlich gemeldeten maximalen zeitungleichen Belastungen berücksichtigt werden können. Damit kommt es bei keinem Entry- oder Exitpunkt zu einer Überschätzung der Auslegungen einzelner Trassenabschnitte durch pauschales Hochskalieren. Ebenso kommt es zu keiner Unterschätzung

einzelner Trassenabschnitte, da i. d. R. jeder Punkt vollständig in das System integriert werden kann³¹. Nicht erfasste Übergänge durch BTG werden implizit abgebildet. In komplexeren Netzstrukturen mit Schiefständen gibt es mindestens eine Stelle, an der die Auslegung der Trassen, die in einen Netzknoten hinein führen (zzgl. Entryleistungen) größer oder kleiner als die Auslegung der Trassen sind, die aus einem Netzknoten rausführen (zzgl. Exitleistungen), was im TWM1 nicht möglich ist. Dies liegt daran, dass die Netzbereiche um die größere Schiefstandsseite im TWM2 ausreichend ausgelegt werden und damit in Summe größer sind als die Netzbereiche um die kleinere Schiefstandsseite. Dies kann implizit als Übergabe verstanden werden. Allerdings bedeutet das TWM2 Vorgehen nicht zwingend, dass das Ergebnis stets kleiner ist als das TWM1. Im TWM2 werden in jeder Iteration nicht die genutzten Trassen anderer Iterationen berücksichtigt, sodass teilweise redundante Trassen im finalen TWM2 ausgelegt werden können. Zudem können unter dem Aspekt der Quellendiversifizierung teils längere Wege zwischen Entry- und Exit Punkten zurückgelegt werden. Beim Berechnungsalgorithmus kann die Reihenfolge der betrachteten Punkte einen Einfluss auf das Ergebnis nehmen. Hierbei kam es zu einer Festlegung eines Algorithmus, der das TWM2 tendenziell maximiert, indem räumlich nah zusammenliegende Punkte gleichzeitig mit voller gemeldeter Leistung berücksichtigt werden. Dies kann wiederum zu einer Überschätzung der Transportleistung einzelner Leitungsabschnitte bei konkurrierenden Punkten (Entry/Exit) führen.

Insgesamt vermag somit das weiterentwickelte TWM2 von den exogenen Parametern die direkt aus der Versorgungsaufgabe im Basisjahr abgeleiteten notwendigen Rohrleitungskosten am besten abzubilden.

Allerdings sei an dieser Stelle angemerkt, dass alle TM/TWM Parameter für ihre – aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht im Allgemeinen vorzuziehenden – Exogenität einen Preis bzgl. der Komplexität der Berechnung sowie einer möglichen Unvollständigkeit im Kontext komplexer, praxisrelevanter Anwendungsfälle der Gasnetzwirtschaft zahlen müssen. So wird eine Berechnung der theoretischen TM/TWM Parameter (auch des TWM2) durch gaswirtschaftliche Zustände wie die Trennung gehandelter und physikalischer Flüsse, Bruchteilsgemeinschaften oder die Marktraumumstellung erschwert.

3.4.10 Netzcharakteristiken: Verzweigungen und Maschen

Während zusätzliche Rohrleitungen zur Anbindung der Exit-Punkte z. B. über die Rohrgeometrieparameter oder im TM/TWM berücksichtigt werden können, wird für die Abbildung der netztechnischen Flexibilität ein Parameter benötigt, der die Kosten für die zusätzliche Komplexität im Netz gut abbilden kann. Gebildet werden dafür neben der Zahl der Anschlüsse, die Zahl der Verzweigungen im Netz und die Zahl der Maschen.

³¹ Ausnahmen vgl. Abschnitt 4.4.4.

Verzweigungen

Exit-Punkte einer Ferngasleitung können grundsätzlich unmittelbar an der Leitung selbst liegen; vielfach liegen sie jedoch auch einige hundert Meter oder auch einige Kilometer von der Ferngasleitung entfernt am Endpunkt einer Verzweigung. Bildhaft kann von Blättern (=Exit-Punkten) gesprochen werden, die entweder direkt am „Stamm“ bzw. „Ast“, oder eben am Ende eines Zweiges sitzen. Aus der Anzahl der Exit-Punkte (bzw. Anschlusspunkte) kann daher nicht unmittelbar auf die Anzahl an Verzweigungen geschlossen werden. Denkbar ist allerdings, dass bei größeren Netzen der Anteil der direkt an die Hauptleitung angeschlossenen „Blätter“ im Verhältnis zu den am Ende von Verzweigungen angeschlossenen Exit-Punkte aufgrund der beschränkten Beeinflussbarkeit der Trassenwahl durch den FNB in Verbindung mit den vorrangig von den Netzkunden vorgegebenen Exit-Punkten weniger streut. In jedem Fall beschränkt dies den Einfluss der FNB auf die Zahl der Verzweigungen, dennoch ist die Anzahl der Verzweigungen im Netz durch den FNB grundsätzlich beeinflussbar, sodass dem Parameter einen eher endogenen Charakter zugeordnet wird. Verzweigungen sind robust gegenüber Änderungen der Versorgungsaufgabe.

Da Verzweigungen im weiteren bis engeren Sinne dem Anschluss von Punkten dienen, sind diese der Dienstleistungsdimension zuzuordnen. Der diskrete Parameter wird nicht um Fremdnutzungsanteile bereinigt. Da die Zahl der Verzweigungen zwar keinen dominanten Kostenblock im Ferngasnetz darstellt, allerdings eine Approximation für die Granularität des Netzes sowie die netztechnische Flexibilität darstellt, kommt der Parameter aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht als endogener Kostentreiber grundsätzlich in Frage.

Maschen

Maschen im Fernleitungsnetz erhöhen die netztechnische Komplexität, aber dadurch auch Flexibilität. Sie können u. a. zur Erhöhung der Kapazität dienen, werden aber analog zu Verzweigungen vor dem Hintergrund der allgemeinen Versorgung der Dienstleistungsdimension zugeordnet. Ob und wo ein Ring im Gasnetz und eine Masche geschlossen werden, entscheidet im regelmäßig nicht (n-1)-sicher ausgelegten Gasnetz i. d. R. der FNB.³² Der Parameter besitzt somit einen eher endogenen Charakter und ist robust gegenüber Änderungen der Versorgungsaufgabe. Auch dieser diskrete Parameter wird nicht um Fremdnutzungsanteile bereinigt. Der Parameter bildet lediglich einen Teilaspekt der netztechnischen Flexibilität ab.

3.4.11 Gebietseigenschaften

Bodenklassen, Grabbarkeit, Aufwandsklassen

Insbesondere die Verlegung von Rohrleitungsabschnitten in extremen **Bodenklassen** nach DIN 18300 VOB/C „Erdarbeiten“ (0, also Gewässer, 2, also sumpfig/fließend/torfig/moorig

³² Bzw. mit Einführung des Netzentwicklungsplans die gemeinsamen Anforderungen einer Netzplanung der FNB mit Freigabe der BNetzA.

sowie 6 und 7, also felsig)³³ kann zu signifikant höheren Investitionskosten bei den FNB führen. Sofern ein erheblicher Anteil derartiger Bodenklassen vorliegt, können diese einen erhöhten baulichen Aufwand und hierdurch erhöhte Systemkosten verursachen. Die Schwankungen der Investitionskosten bei weniger extremen Bodenklassen sind dagegen deutlich geringer und dürften eher in einer Größenordnung liegen, die auch durch andere Besonderheiten bei der jeweiligen Baumaßnahme erreicht und mit gutem Grund aus Aufwand-/Nutzengründen bisher nicht abgebildet werden (z. B. technologische und organisatorische Varianten bei der Errichtung).

Obwohl sich die Technik insbesondere dort verbessert hat, wo mit den genannten extremen Bodenverhältnissen umzugehen ist, und dementsprechend vormals teure Bodenklassen heute vergleichsweise günstiger erschlossen werden können, sollte der Aufwand zur Lösung besonderer technischer Herausforderungen zur Erhöhung der Akzeptanz von Effizienzuntersuchungen nicht von vornherein ausgeschlossen werden.

Zu bedenken ist allerdings, dass derart extreme Bodenverhältnisse zum einen üblicherweise nur einen Teil des Netzes der weiträumigen Netze betreibenden FNB betreffen und zum anderen besteht nicht selten die Möglichkeit, durch „Ausweichbewegungen“ der Trasse derartige Bodenklassen weitgehend zu vermeiden. Somit müsste eine etwaige Berücksichtigung von Bodenklassen recht kleinteilig erfolgen, um zu berücksichtigen, dass in der Feinplanung der Trassen nicht selten derartige Umgehungsmöglichkeiten genutzt worden sein dürften. Die durch Ausweichbewegungen verursachte Verlängerung der Transportdistanz wird in den Rohrgeometrieparametern oder durch den Faktor Trassentreue, also die Berechnung der Transportentfernung auf Basis realer Trassen anstelle der Luftliniendistanz beim T(W)M, bereits berücksichtigt.

Bei kleinräumiger Versorgung kann der regional vorherrschenden Bodenklasse kaum ausgewichen werden. Bei großräumigen Projekten geht die technischen Schwierigkeiten von Trassenvarianten sicherlich in die Genehmigungsverfahren ein (z. B. als eine Art „technisch-wirtschaftlicher Raumwiderstand“), allerdings sind technische und wirtschaftliche Erschwernisse regelmäßig anderen Kriterien (z. B. Umweltschutz, Belastung der Bevölkerung) untergeordnet, so dass für den Trassenbau Deutschland aktuell allenfalls bedingte Ausweichmöglichkeiten gegeben sind. In summarischer Betrachtung ergibt sich so die Einschätzung, dass der Parameter einen eher exogenen Charakter besitzt.

Die **Grabbarkeit** als weitere Gebietseigenschaft bezieht sich ebenfalls auf die Bodenbeschaffenheit im für Ferngasleitung üblichen Tiefenbereich. Daneben beschreiben die **Aufwandsklassen** neben dem notwendigen Aufwand zum Lösen und Laden von Boden ebenfalls den Aufwand zur Herstellung einer Wasserhaltung. Die Überlegungen zu den Bodenklassen sind daher für diese Parameter analog zu verwenden und auch sie weisen einen

³³ Boden- und Felsklassen nach ATV DIN 18300 der VOB/C DIN 18300 Ausgabe 2012-09.

eher exogenen Charakter auf. Die Parameter sind robust gegenüber einer Änderung der Versorgungsaufgabe.

Analog zur Leitungslänge erfolgt bei diesen Parametern eine Zuordnung zur Dienstleistungsdimension und damit keine Bereinigung von Fremdnutzungsanteilen.

Weitere Gebietseigenschaften

Der Parameter mittlere Hangneigung kann Mehraufwände der Verlegung von Rohrleitungen in gebirgige Lagen gegenüber einer Verlegung im flachen Gelände erklären. Bei Hanglagen treten Mehraufwände im Tiefbau und bei der Sicherung von Trassen gegen das Abrutschen auf. Dieser Parameter besitzt einen eher exogenen Charakter und ist robust gegenüber einer Änderung der Versorgungsaufgabe.

3.5 Folgerungen für den Effizienzvergleich

Die obigen Überlegungen werden nun für die beiden Modellentwicklungsverfahren „Top-down“ und „Technical-Blocks“ operationalisiert.

3.5.1 Eignung der Parameter fürs das Top-down-Verfahren

Gestützt auf die obigen Analysen, namentlich

- einer Gruppierung der Parameter nach sachlogischer Zusammengehörigkeit, ihrer Einordnung zu Versorgungsdimensionen und ihrer Beeinflussbarkeit durch die Netzbetreiber;
- einer quantitativen Untersuchung im Rahmen der vorgenommenen Referenznetzanalyse und
- einer qualitativen Analyse der Parameter auf wesentliche Zusammenhänge mit Netzkosten, ausgehend von früheren Kostentreiberanalysen basierend auf analytischen Kostenzusammenhängen und unseren einschlägigen Erfahrungen,

werden die untersuchten potenziellen Vergleichsparameter aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive hinsichtlich ihrer Eignung als Kostentreiber geordnet.

Die Sortierung nach Eignung wird zum einen mit Blick auf das im Rahmen der Modellentwicklung durchgeführte „Top-down-Verfahren“ erstellt, bei dem ausgehend von jedem Einzelparameter mit bester Eignung jeweils eine Kostenfunktion durch schrittweise Ergänzung entwickelt wird (Details vgl. Abschnitt 5.4.1).³⁴ Zum anderen unterstützt sie die Beurteilung und Bündelung von Modellen. Es gilt folgende Einteilung:

³⁴ Die Entwicklung mittels stimmiger Parameterkombinationen erfolgt im Technical-Blocks-Verfahren (vgl. Abschnitt 3.5.2)

- **Gute Eignung:** Kostentreiber dieser ersten Kategorie eignen sich aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht besonders gut, um die Kosten der Netzbetreiber abzubilden;³⁵
- **Komplementäre Eignung:** Parameter der zweiten Kategorie werden als Kostentreiber eingeschätzt, welche wesentliche Teilaspekte abzubilden vermögen. Sie eignen sich im Besonderen als Komplemente für Parameter der ersten Kategorie, wobei die Eignung unterschiedlich ausfallen kann;
- **Partielle Eignung:** Parameter der dritten Kategorie werden als am wenigsten geeignet eingestuft, können jedoch potenziell gleichwohl wesentliche Teilaspekte in ein Modell einbringen.

Tabelle 11 zeigt das Ergebnis der vorgenommenen Einteilung. Im oberen Teil sind die eher exogenen Parameter eingeordnet, im unteren Teil die eher endogenen. Dies bedeutet, dass kein Parameter allein aufgrund seiner Beeinflussbarkeit (eher exogen vs. eher endogen) als weniger geeignet klassifiziert wurde. Ebenso hat die Geeignetheit keinen Ausschluss eines Parameters zur Folge, da die Modellentwicklung in Kapitel 5 vielschichtig erfolgt (u. a. Bottom-up-Verfahren, Weiterentwicklung des Modells der RP3, auch Parameter mit partieller Eignung sind offen für das Top-down-Verfahren, Second-Stage-Analyse).

Tabelle 11: Priorisierung der Parameter gestützt auf die KTA Ing

„Gute Eignung“	„Komplementäre Eignung“	„Partielle Eignung“
Stärker Exogen		
	Höchstlast	Jahresarbeit
	Horizontale/vertikale Last	Horizontale/vertikale Arbeit
	Ein- und Ausspeisepunkte	
	Ausspeisepunkte	Einspeisepunkte
TWM2, TWM1 Last		TWM1 Arbeit
	Transportmoment Last	Transportmoment Arbeit
		Gebietseigenschaften
Stärker Endogen		
Rohrleitungsvolumen	Leitungslänge	
Rohrleitungsmantelfläche (input)	Rohrleitungsmantelfläche (output)	
	Verdichter (Leistung, Energie)	Verdichter (Anzahl)
	Druckregler (Nenndurchfluss)	Druckregler (Anzahl)
	Vertikale Fläche	Polygonfläche
	Verzweigungen	Maschen

Quelle: Eigene Darstellung

³⁵ Dies bedeutet jedoch nicht, dass Parameter dieser Klasse miteinander kombiniert werden sollten. Vorliegend eignen sich bspw. die beiden gut geeigneten Parameter – Transportwurzelmoment und seine endogene Entsprechung Rohrmantelfläche – nicht zur gleichzeitigen Verwendung, da sie grundsätzlich den gleichen Kostenzusammenhang abbilden (vgl. hierzu Ausführungen in Abschnitt 3.4).

Die Einordnung kann ergänzend zu den einzelnen obigen Ausführungen wie folgt begründet werden:

- Parameter mit einer **guten Eignung** sind in der Lage, für sich alleine das notwendige Rohrleitungsgerüst als wichtigsten Kostentreiber umfassend abzubilden. Sie haben einen Bezug sowohl zur Länge als auch zur notwendigen Kapazität der Rohrleitungen, die zum Bedienen der Anschlusspunkte notwendig sind. Dies ist beim Rohrleitungsvolumen, bei der Rohrmantelfläche und dem Transportwurzelmoment 1 und 2 – jeweils gebildet mit den an den Anschlusspunkten zu bedienenden Lasten – gegeben.
- **Komplementär hierzu** sind Ein- und Ausspeisepunkte, Ausspeisepunkte, Verzweigungen und vertikale Fläche, welche in ein Modell zusätzlich Aspekte der Granularität der Versorgungsaufgabe einbringen. Verdichterleistung und Nenndurchfluss komplementieren insbesondere die Rohrgeometrie. Leitungslänge und Höchstlast sind mehr zueinander komplementär als gegenüber den primären Parametern, zu denen sie eine Redundanz aufweisen (die primären Parameter bilden die Last schon recht weitgehend ab). Die gegenseitige Komplementarität wird bei den Technical Blocks aufgenommen. Demgegenüber sind das Transportmoment Last und die outputorientierte Rohrmantelfläche substitutiv zu den primären Parametern guter Eignung zu sehen. Sie werden dennoch in der zweiten Kategorie geführt auch mit Blick auf die ingenieurwissenschaftliche Beurteilung von Modellen.
- Als **partiell geeignet eingestuft** sind Parameter, welche weitere Aspekte in ein Modell mit primären und komplementären Parametern einbringen können. Beispiele sind alle arbeitsbasierten Parameter (Jahresarbeit, TM/TWM Arbeit), Einspeisepunkte, die Polygonfläche oder Bodenklassen. Die Anzahl an Verdichtern oder Druckreglern sind ebenfalls in dieser Kategorie aufgeführt, da sie gegenüber der Verdichterleistung und dem Nenndurchfluss klar abfallen.

3.5.2 Bildung der Bausteine für das Technical-Blocks-Verfahren

„Technical Blocks“ werden in dieser Regulierungsperiode erstmalig als viertes Verfahren zur Bildung eines Parametermodells verwendet. Ziel dieses Verfahrens ist es, ausschließlich von aus ingenieurwissenschaftlicher Betrachtung geeigneten Parametern-Kombinationen („Blöcken“) auszugehen, diese ggf. um weitere – aus Ingenieursicht die Erfassung der Versorgungsaufgabe widerspruchsfrei ergänzende Parameter bzw. Blöcke kombinatorisch zu erweitern und auf diese Weise die ökonometrischen Untersuchungen auf aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht begründete Parameterkombinationen zu beschränken.

Die obigen Erkenntnisse werden entsprechend zur Bildung der Bausteine für das Technical-Blocks-Verfahren eingesetzt.

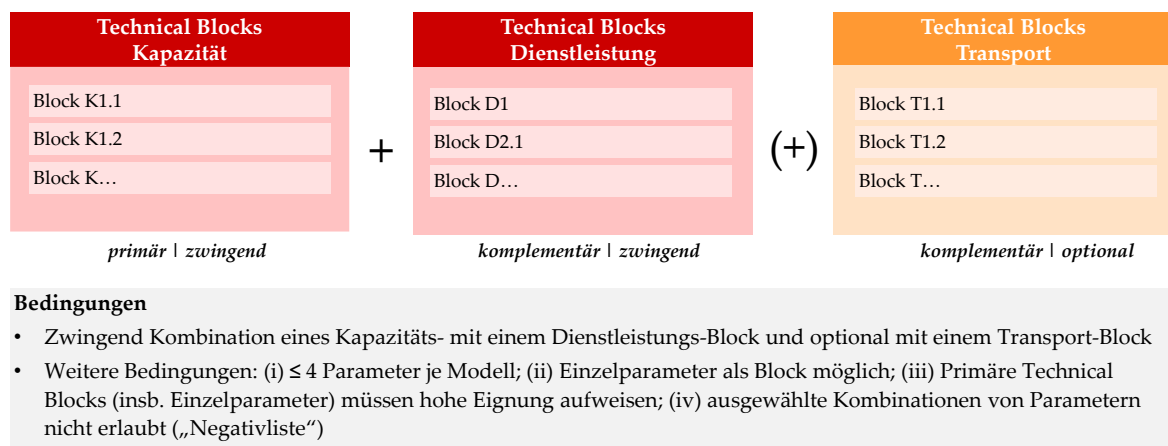
Ansatz und Vorgehen

Um aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht Modelle zu finden, die die Erfüllung der Versorgungsaufgabe ausreichend abbilden, orientiert sich dieses Verfahren an den in Abschnitt 3.2.2 erwähnten Versorgungsdimensionen:

- In einem ersten Schritt werden unter den Parametern **innerhalb einer Versorgungsdimension** Parameter oder Parameterkombinationen („Technical Blocks“) identifiziert, die alleine oder gemeinsam – da zueinander komplementär – ihre Versorgungsdimension geeignet beschreiben, z. B. Rohrvolumen und Verdichterleistung.
- Anschließend werden **Kombinationen aus einzelnen Blöcken unterschiedlicher Dimensionen** gebildet, um ein vollständiges Modell zu erhalten. Gemäß Abschnitt 3.2.2 sind die Dimensionen „Kapazität“ und „Dienstleistung“ obligatorisch („need to have“), während die Dimension „Transport“ optional ist („nice to have“). Für das Vorgehen folgt damit, dass zur Bildung des Modells zwingend jeweils ein Technical Block der Kapazitäts- und Dienstleistungsdimension gewählt werden muss, während die Wahl eines Technical Blocks aus der Dimension Transport optional ist. Die Kapazitätsdimension und die komplementär hierzu stehende Dienstleistungsdimension sind somit in jedem resultierenden Modell abgebildet.
- Die Kombinatorik der einzelnen Blöcke wird zum einen durch die geeignete Anzahl der Parameter im Modell (höchstens vier, siehe Abschnitt 5.5.1.4 nachfolgend), zum anderen durch eine **Negativliste** ungeeigneter Parameterkombinationen eingeschränkt, die sich durch Kombination der Blöcke ergeben kann. Da grundsätzlich alle so möglichen Kombinationen getestet werden, besteht im Gegensatz zum TD-Verfahren keine Pfadabhängigkeit. Beim TD-Verfahren können dafür aber grundsätzlich alle Parameter Eingang in ein Modell finden.

Abbildung 15 veranschaulicht das gewählte Vorgehen bei den Technical Blocks inklusive der relevanten Nebenbedingungen. Die konkrete Verwendung bei der Modellentwicklung ist in Abschnitt 5.4.1 dokumentiert.

Abbildung 15: Veranschaulichung Modellbildung mit Technical Blocks



Quelle: Eigene Darstellung

Gebildete Technical Blocks

Tabelle 12 fasst die identifizierten Technical Blocks zusammen, die zugrundeliegenden Überlegungen werden nachfolgend ausgeführt.

Tabelle 12: Übersicht über gebildete Technical Blocks je Versorgungsdimension

Bezeichner	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Kapazität			
K1.1	TM Q _{max}		
K1.2	TM Q _{max}	Verdichterleistung	
K1.3	TM Q _{max}	Nennndurchfluss Regler	
K1.4	TM Q _{max}	Verdichterleistung	Nennndurchfluss Regler
K2.1	TWM1 Q _{max}		
K2.2	TWM1 Q _{max}	Verdichterleistung	
K2.3	TWM1 Q _{max}	Nennndurchfluss Regler	
K2.4	TWM1 Q _{max}	Verdichterleistung	Nennndurchfluss Regler
K3.1	TWM2 Q _{max}		
K3.2	TWM2 Q _{max}	Verdichterleistung	
K3.3	TWM2 Q _{max}	Nennndurchfluss Regler	
K3.4	TWM2 Q _{max}	Verdichterleistung	Nennndurchfluss Regler
K4.1	Rohrvolumen		
K4.2	Rohrvolumen	Verdichterleistung	
K4.3	Rohrvolumen	Nennndurchfluss Regler	
K4.4	Rohrvolumen	Verdichterleistung	Nennndurchfluss Regler
K5.1	Mantelfläche (input/output)		
K5.2	Mantelfläche (input/output)	Verdichterleistung	
K5.3	Mantelfläche (input/output)	Nennndurchfluss Regler	
K5.4	Mantelfläche (input/output)	Verdichterleistung	Nennndurchfluss Regler
K6.1	Höchstlast		
K6.2	Höchstlast vertikal	Höchstlast horizontal	
Dienstleistung			
D1.1	Punkte		
D1.2	Punkte Exit		
D1.3	Punkte Entry	Punkte Exit	
D2.1	Punkte	Leitungslänge	
D2.2	Punkte	Polygonfläche	
D2.3	Punkte	Vertikale Fläche	
D3.1	Verzweigungen	Leitungslänge	
D3.2	Verzweigungen	Polygonfläche	
D3.3	Verzweigungen	Vertikale Fläche	
D4.1	Leitungslänge	Polygonfläche	
D4.2	Leitungslänge	Vertikale Fläche	
Transport			
T1.1	Arbeit		
T1.2	Arbeit vertikal	Arbeit horizontal	
T2	Verdichter (Treibenergie)		
T3.1	TM Q _{jahr}		
T3.2	TWM Q _{jahr}		

Quelle: Eigene Darstellung

Zunächst soll jedes Modell aus einem **Technical Block der Versorgungsdimension "Kapazität"** bestehen. Diese wurden wie folgt gebildet:

- Technical Blocks K1 – K5 (nicht aber K6):

- Als Parameter 1 wird ein exogener (TM Qmax/TWM Qmax) oder endogener (Rohrvolumen/-mantelfläche) Parameter gewählt, der insbesondere das Rohrleitungsgerüst des FNB als bedeutendsten Kostentreiber möglichst umfänglich beschreibt und somit implizit neben der Kapazität (benötigte Rohrleitungsdurchmesser) auch ein wesentliches Element der Dienstleistungsdimension beschreibt, z. B. Netzausdehnung in Form der Länge der Rohrleitungen bei endogenen Parametern;
- Als Parameter 2 kann optional entweder die Kapazität der Verdichter oder Druckregler als Komplemente in das Modell aufgenommen werden. Diese stellen bezogen auf die verbauten Assets der FNB die jeweils nächst bedeutendsten Kostentreiber dar. Bei alleiniger Wahl der Druckregler als komplementären Parameter kann die Verdichterkomponente alternativ auch über die Transportdimension (Verdichter Treibenergie) in das Effizienzmodell gelangen.
- Als Parameter 3 kann optional der Nenndurchfluss der Druckregler in das Effizienzmodell aufgenommen werden.
- Die Technical Blocks K6 starten nicht mit dem Mengengerüst des FNB, sondern verwenden die Jahreshöchstlast – einmal die gesamte Jahreshöchstlast in K6.1 und einmal die Jahreshöchstlast differenziert nach horizontal und vertikal in K6.2. Da hier die Netzausdehnung nicht innerhalb des Kapazitätsblocks abgebildet wird, sollte dies in einem geeigneten Modell über die anderen Versorgungsdimensionen (z. B. Leitungslänge im Dienstleistungsblock) erfolgen.

Die **Technical Blocks der Versorgungsdimension “Dienstleistung”** sind ebenfalls **zwingend** erforderlich und liefern komplementäre Erklärungen für das Modell. Als bedeutender Aspekt dieser Versorgungsdimension soll die Granularität der Versorgungsaufgabe abgebildet werden. Daher beinhalten die Technical Blocks D1 bis D3 jeweils stets entweder Punkte oder alternativ Verzweigungen. Optional können hier weitere Dienstleistungsparameter wie die Leitungslänge, die Polygonfläche oder die vertikale Fläche ergänzt werden. Die Technical Blocks D4 kombinieren die Leitungslänge mit der Polygonfläche bzw. vertikalen Fläche, um die Granularität der Versorgungsaufgabe durch die Relation aus Leitungslänge und Fläche zu beschreiben.

Die **Technical Blocks der Versorgungsdimension “Transport”** sind **optional** auszuwählen und können komplementäre Erklärungen für das Modell liefern. Da die Transportdimension als “Nice to have”-Dimension nur ein nachgelagerter Kostentreiber ist und daher in der Vergangenheit in den Effizienzmodellen keine Berücksichtigung fanden, sind die Technical Blocks dieser Dimension mit Ausnahme von T1.2 Einzelparameter. Analog zur Jahreshöchstlast (bei der Kapazität, K6) wird in T1 einmal die gesamte Jahresarbeit verwendet und einmal in die horizontale und vertikale Dimension unterschieden. Als weiterer Kostentreiber der Transportdimension wird in T2 die Treibenergie der Verdichter berücksichtigt. Zudem werden die T3 Transportmoment bzw. Transportwurzelmoment gebildet mit Arbeit als potentielle Parameter innerhalb des Effizienzmodells nicht ausgeschlossen.

Gestützt auf die obigen Überlegungen kommen nicht alle Parameter in Blocks vor. Z. B. fehlen die Parameter zu Bodenklassen oder Anzahl an Verdichtern und Druckreglern, während ausgewählte Arbeit- und Flächenparameter berücksichtigt werden. Im Rahmen des Technical-Blocks-Ansatzes nicht berücksichtigte Parameter können durch komplementäre Verfahren in potentielle Effizienzmodelle gelangen (z. B. Bottom-up-Verfahren, Top-down-Verfahren, Auswertung Permutation).

Negativliste

Schließlich werden über die Negativliste in **Tabelle 13** ungeeignete, dimensionsübergreifende Parameterkombinationen ausgeschlossen, um unerwünschte mögliche Doppelungen zu verhindern:

- Die Parameter in N1 beschreiben das Rohrleitungsgerüst des Netzbetreibers. Bei Verwendung mehrerer dieser Parameter in einem Effizienzmodell käme es damit zu einer starken Wiederholung der Wirkung dieser Parameter.
- N2 gilt dieses analog für den Aspekt der Granularität der Netzbetreiber,
- bei N3 und N4 analog für Druckregler und Verdichter.

Tabelle 13: Übersicht über Negativliste für Parameterkombinationen

Bezeichner	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
N1	Rohrvolumen	Rohrmantelfläche	Leitungslänge
	TWM1 Qmax	TWM1 Qjahr	TWM1 Qsim
	TWM2 Qmax	TM	
N2	Punkte Exit + Entry	Punkte Exit	Verzweigungen
N3	Druckregler (Anzahl)	Druckregler (Nenndurchfluss)	
N4	Verdichter (Anzahl)	Verdichter (Treibenergie)	Verdichter (Leistung)

Quelle: Eigene Darstellung

4 Datenvalidierung

Die Datenvalidierung fasst die Datenverarbeitung, technische Parameterbildung, Datenplausibilisierung und Datenveröffentlichung zusammen.

Die **wichtigsten Arbeitsergebnisse** der Datenvalidierung sind:

- Die Definition der Nomenklatur;
- Plausibilisierte und bereinigte Daten;
- Generierte, plausibilisierte und ggf. bereinigte Vergleichs- und Aufwandsparameter;
- Als zentrales Arbeitsergebnis resultiert ein validierter Datensatz als Grundlage für die weiteren Arbeiten.

Das **grundlegende Vorgehen** erfolgte gestaffelt:

- Verschiedene Datenlieferungen durch die BNetzA, erstmals im September 2021;
- Regelmäßiger (oft wöchentlicher) Austausch mit der BNetzA zum aktuellen Stand der Auswertungen;
- Bildung der Vergleichsparameter;
- Zustellung der Vergleichsparameter an die Netzbetreiber in Form von Datenquittungen durch die BNetzA.

Die Validierungen und Parameterberechnungen erfolgten sowohl durch die BNetzA wie auch die Gutachter. Der Fokus der BNetzA lag bei der Validierung auf den Einzeldatenlieferungen der Netzbetreiber, während die Gutachter stärker den Gesamtdatensatz im Auge hatten („Cross-Validation“ oder Kreuzvalidierung, wie stehen die Daten der Netzbetreiber relativ zueinander).

Seitens Gutachter werden die von der BNetzA zur Verfügung gestellten vorplausibilisierten Daten der Netzbetreiber durchgehend mit der Software R importiert, aufbereitet und daraus die Parameter berechnet und validiert. Die Validierungen erfolgen mit Blick auf die spätere Verwendung im Effizienzvergleich entlang der folgenden **Arbeitsschritte**:

- Formale Prüfungen der einzelnen Datenlieferungen:
 - Überprüfung des Datensatzes auf Vollständigkeit;
 - Überprüfung der Definitionen, Beschreibungen und Datenformate der Datenfelder;
 - Betrachtung von Nullwerten, fehlenden Werten (NA);
 - Konsistenzchecks (z. B. Einspeisepunkt mit Einspeisung);
 - Wertebereichsprüfungen der gebildeten Parameter oder Kennzahlen (wobei die Wertebereiche von den Ingenieuren festgelegt wurden);
- Analyse der Netzkarten: Karten-Auswertung der gelieferten geographischen Informationssystem (GIS) Daten;
- Plausibilität des gemeinsamen Datensatzes:

- Durchführung von Vorperiodenvergleichen;
- Teilnetzprüfung;
- Verteilungsanalysen einzelner Parameter und Kennzahlen;
- Konsistenz- und Verhältnisprüfungen (Scatterplots);
- Analyse von Korrelationsmatrizen;
- Spezialauswertungen mit Blick auf DEA: Bestes Parameter-zu-Kostenverhältnis.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der Validierung festgehalten.

4.1 Datenmanagement und analysierte Dateien

4.1.1 Datenlieferungen der BNetzA und Lieferungen an die Netzbetreiber

Die Datenlieferung der BNetzA erfolgte gestaffelt (wichtigste Termine vgl. Tabelle 1). Entsprechend wurde auch die Validierung gestaffelt durchgeführt.

Anhand der «final» vorliegenden Daten («Datensatz V5») wurde schließlich die in diesem Bericht wiedergegebene Validierung vorgenommen. Nach einer marginalen Anpassung der Kosten eines Netzbetreibers erfolgte die Festlegung des finalen Modells auf dem Datenstand V6, wobei auch die Vergleichsparameter erneut validiert wurden. Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich auf diesen finalen Stand der Struktur- und Kostendaten.

4.1.2 Struktur der Datenabfrage

Die Daten wurden von der BNetzA unterschiedlich stark aufbereitet zur Verfügung gestellt.

Die **Kostendaten** wurden vollständig aufbereitet bereitgestellt, d. h. es wurde jeweils je ein Wert cTotexN und cTotexS je Netzbetreiber geliefert inkl. Aufteilung Opex, Capex, kostenmindernde Erlöse und Erträge sowie kalkulatorische Gewerbesteuern.

Für die **Strukturdaten** wurden die von den Netzbetreibern ausgefüllten Erhebungsbögen unverändert an das Konsortium übergeben. In den Erhebungsbögen sind „Strukturdaten I“ und „Strukturdaten II“ unterschieden:

- Die Strukturdaten I umfassen summarische, nach H- und L-Gas differenzierte Angaben zu Jahresarbeit, Jahreshöchstlast, Gasmischstationen und Konvertierungsanlagen sowie allgemeine Informationen zum Gasfernleitungsnetzbetreiber.
- Die Strukturdaten II bestehen aus georeferenzierten Angaben zu einzelnen Anlagen („Assets“) mit Standorten, Knoten, Stützpunkte, Leitungen und Leitungsabschnitten, Druckreglern, Verdichtern sowie Netzkoppelungs- und Netzanschlusspunkten (NKP/NAP).

Dazu beinhalten die Bögen Erläuterungsmöglichkeiten für die FNB sowie erste automatisierte Prüfungen zur Erhöhung der Datenqualität.

Die Strukturdaten werden entsprechend aufbereitet, um hieraus relevante Vergleichsparameter erzeugen zu können.

Bei den **gebietsstrukturellen Daten** erfolgte die Lieferung an das Gutachterkonsortium von der BNetzA in Form von aufbereiteten Flächenangaben zu Leitungskorridoren differenziert nach Bodenklassen, Grabbarkeit und neu Aufwandklassen (Tiefenstufen 0-1 Meter und 1-2 Meter), mittlere Hangneigung sowie maximale Höhendifferenz.³⁶ Aus diesen Angaben können direkt geeignete Vergleichsparameter definiert werden.

4.1.3 Datenmanagement

Aufgrund der gestaffelten, in mehreren Runden erfolgenden Datenlieferungen wurden die umfangreichen Strukturdaten der Netzbetreiber automatisiert in R eingelesen und verarbeitet. Um die Fehleranfälligkeit zu reduzieren, wurde davon abgesehen, manuelle Dateneingaben zu vollziehen.

Die Verarbeitung erfolgte entlang der nachfolgenden Schritte:

- Import der Strukturdaten I je Netzbetreiber;
- Import der Strukturdaten II je Netzbetreiber:
 - Einlesen der Standorte, Stützpunkte, Knoten, Verdichter, Druckregler, Leitungen und Leitungsabschnitte;
 - Fehler in einzelnen Erhebungsbögen korrigieren (vertauschte Hoch-/Rechtswerte, Angabe des falschen Koordinatensystems);
 - Koordinaten der Leitungen mit Stützpunkten aus dem Erhebungsbogen zusammenführen. Pro Leitung resultierte ein Linestring³⁷, der Koordinaten von Start- und Endpunkt sowie Stützpunkten dazwischen enthält;
 - separat zugestellte Koordinaten einlesen und mit den Leitungen zusammenführen (analog zu oben). Wenn Koordinatenangaben zu Leitungen aus dem Erhebungsbogen und separat gelieferten Daten vorhanden sind, werden die separaten gelieferten Leitungskordinaten verwendet.
- Es werden pro Netzbetreiber und Asset Datensätze die Strukturdaten II im RData-Format abgespeichert. Die georeferenzierten Daten werden vor der Speicherung in die UTM32-Projektion überführt (EPSG-Code 25832), sofern diese noch nicht in dieser Projektion angegeben sind;
- Die Strukturdaten I werden ebenso pro Netzbetreiber im RData-Format abgespeichert;

³⁶ Methodenbeschreibung: vgl. «Gutachten zur Erstellung gebietsstruktureller Daten» 2021 von Björnsen Beratende Ingenieure im Auftrag der Bundesnetzagentur.

³⁷ Ein spezifisches RData-Format für das Arbeiten mit geometrischen Informationen («simple feature geometry»).

- Im Anschluss darauf folgt die weitere Verarbeitung der Daten inklusive Berechnung der Vergleichsparameter in R:
 - Nach dem Einlesen der zuvor erstellten Daten werden diese zunächst bereinigt und validiert;
 - Es erfolgt die Berechnung nicht-teilnetzscharfer Parameter, die nicht auf Koordinatenangaben beruhen;
 - Identifikation von vollständigen Teilnetzen;
 - Berechnung der übrigen Parameter (Maschen und Verzweigungen, Flächenparameter, Transportmoment, Transportwurzelmoment usw.);
 - Erstellung von HTML-Karten je Netzbetreiber und deutschlandweit;
 - Erzeugung von Dateien mit Zwischenresultaten der Transportwurzelmomentberechnung (Distanz-, Flussmatrizen usw.);
- Erstellung eines gemeinsamen Datensatzes für den Effizienzvergleich (Kostendaten und Vergleichsparameter gemäß Anhang B inkl. gebietsstrukturelle Parameter der BNetzA);
- Erstellung einer Parameterquittung (C) je Netzbetreiber, den Netzbetreibern erstmals im Juni 2022 zur Verfügung gestellt.³⁸

4.1.4 Im Rahmen der Validierung analysierte Dateien

Bei jeder neuen Datenlieferung wurden folgende Dateien geprüft (die nachfolgenden Ausführungen sind nach diesen vier Punkten gegliedert):

1. Die Daten wurden auf ihre Konsistenz geprüft (Leitungen mit Angabe von Länge und Durchmesser, Anzahl Ausprägungen, fehlende Ein- bzw. Ausspeisungen bei Punkten). Das Konsortium erstattete der BNetzA hierzu Bericht;
2. Erste visuelle Prüfung der georeferenzierten Daten sowie Prüfung der Formate, Wertebereiche und Vollständigkeit der Daten anhand der je Netzbetreiber erzeugten Excel-Datei mit Originaldaten (Abschnitt 4.2 nachfolgend);
3. Visuelle Prüfung der gemeinsamen Netzkarte sowie der je Netzbetreiber erzeugten Netzkarten (Abschnitt 4.3 nachfolgend);
4. Eingehende analytische und statistische Prüfung des gemeinsamen Datensatzes, insb. formale Prüfungen (Formate, Vollständigkeit), Integrität (Newcomb-Benford) und Konsistenzprüfungen (Abschnitt 4.4 nachfolgend).

³⁸ Die Datenquittungen A und B wurden durch die BNetzA erstellt, vgl. auch Anhang A.3.

4.2 Analyse der einzelnen Datenlieferungen je Netzbetreiber

Bei der Prüfung der einzelnen Datenlieferungen der Netzbetreiber konnten u. a. folgende Feststellungen gemacht werden:

- Die Daten sind im Wesentlichen formal korrekt in den dafür vorgesehenen Spalten eingegeben worden, u. a. funktionierte der automatisierte Import problemlos bzw. es mussten nur wenige Anpassungen codiert werden (z. B. Tausch von Rechts- und Hochwerten);
- Formale Wertebereiche, Anteile (z. B. Fremdnutzung als Leitung oder %) sowie Summen sind korrekt und plausibel;
- Die analytischen Wertbereichsprüfungen der Vergleichsparameter haben mit Ausnahme eines Aufwandklassen-Bodenparameters (zSoil_AK67_V02) durchwegs gültige Wertebereiche ergeben (vgl. Tabelle 14) – beim besagten Bodenparameter weisen zwei Netzbetreiber keine der betreffenden besonders teuren Aufwandklassen auf, was jedoch nicht in falschen Daten begründet sein muss, sondern besagt, dass entlang der Rohrleitungen keine entsprechenden Aufwandklassen vorhanden sind;
- Wenige Verhältniszahlen („KPIs“, Key Performance Indicators) liegen außerhalb von den definierten Bandbreiten (Kapitalintensität, Verhältnisse von Höchstlasten Ein- und Ausspeisung, Benutzungsstunden, Ausspeisepunkte gegenüber Verzweigungen, vgl. Tabelle 14). Abweichungen wurden nachgegangen (z. B. Benutzungsstunden möglich aufgrund der Definition der Jahresarbeit bei Bruchteilsgemeinschaften);

Tabelle 14: Auffälligkeiten Wertebereichsprüfung

Variable	Min	Max	TypeR	Num0	NumNA	Mean	Median	Stdev	RangeMi	RangeMa	MaxPerf	MinErfuel	MaxErfuell
zSoil_AK67_V02	1.00	inf	numeric	2	0	0.79	0.19	1.20	-	3.73	#ZAHL!	FALSCH	WAHR
rCapexN_per_TotexN	0.50	1	numeric	0	0	0.55	0.54	0.14	0.35	0.77	2.2096163	FALSCH	WAHR
rCapexS_per_TotexS	0.50	1	numeric	0	0	0.54	0.55	0.13	0.35	0.77	2.2011034	FALSCH	WAHR
rEnergy_injected_per_delivered_L	0.90	1.1	numeric	0	11	1.08	1.02	0.15	1.00	1.35	1.3527359	WAHR	FALSCH
rEnergy_injected_per_delivered_tot	0.90	1.1	numeric	0	0	1.05	1.01	0.10	0.94	1.25	1.3376127	WAHR	FALSCH
rPeakload_injec_simult_per_Qmax_L	1.00	10	numeric	0	11	1.63	1.60	0.48	0.93	2.14	2.2975405	FALSCH	WAHR
rPeakload_injec_simult_per_deliv_H	0.67	1.5	numeric	0	0	0.96	0.97	0.29	0.23	1.60	6.8507139	FALSCH	FALSCH
rPeakload_injec_simult_per_deliv_tot	0.67	1.5	numeric	0	0	0.99	0.98	0.28	0.23	1.60	6.8507139	FALSCH	FALSCH
rPeakload_injec_Qmax_per_deliv_H	0.67	1.5	numeric	0	0	1.04	0.97	0.40	0.55	2.11	3.8493825	FALSCH	FALSCH
rPeakload_injec_Qmax_per_deliv_L	0.67	1.5	numeric	0	11	0.90	0.91	0.17	0.63	1.05	1.6595884	FALSCH	WAHR
rPeakload_injec_Qmax_per_deliv_tot	0.67	1.5	numeric	0	0	1.01	0.95	0.38	0.55	2.11	3.8493825	FALSCH	FALSCH
rEnergy_injec_per_Qsim_H	878.40	8784	numeric	0	0	5'605.85	4'899.12	2'533.53	3'380.19	13'878.70	4.10589	WAHR	FALSCH
rEnergy_injec_per_Qsim_tot	878.40	8784	numeric	0	0	5'618.23	5'135.32	2'527.98	3'380.19	13'878.70	4.10589	WAHR	FALSCH
rPoints_exit_per_branch	0.05	2	numeric	0	0	0.99	0.72	0.84	0.18	3.00	16.258065	WAHR	FALSCH

Quelle: Eigene Darstellung

- Die durchgeführten Konsistenz-Tests bestätigten eine gute Datenqualität. Die nachfolgende **Tabelle 15** zeigt einen Auszug mit auffälligen Beobachtungen summiert über alle Netzbetreiber, die jeweils netzbetreiberscharf nach jedem Durchgang der BNetzA zur Verfügung gestellt wurden. Beispielsweise lagen Teils Leitungen mit Längen Null vor oder bei Punkten fehlten Teils Ein- oder Ausspeisungen. Diese Auffälligkeiten konnten alle als korrekt bestätigt werden oder hatten aufgrund von Geringfügigkeit keine Auswirkungen auf die Parameter.

Tabelle 15: Ausgewählte Auffälligkeiten der Konsistenz-Prüfungen

Test	Anzahl	Kommentar
LeitungenLaengeNull	90	Insb. Leitungen zur Komplettierung von Teilnetzen
LeitungenVolumenNull	90	Insb. Leitungen zur Komplettierung von Teilnetzen
#LeitungsdruckbereichMD	18	zur Information: 18 Leitungsabschnitte Mitteldruck
#LeitungsdruckbereichND	0	zur Information: keine Leitungsabschnitte Niederdruck
#LeitungenBiogas	205	zur Information
#LeitungenInvestMassnahme	83	zur Information
Verdichter#DruckdifferenzNegativ	3	der BNetzA gemeldet, von den NB erklärt
Druckregler#DruckdifferenzPositiv	19	der BNetzA gemeldet, von den NB erklärt
EntryohneEinspeisung	72*	der BNetzA gemeldet, plausibel
ExitohneAusspeisung	168*	der BNetzA gemeldet, plausibel
EntryohneQmaxEin	74*	der BNetzA gemeldet, plausibel
EntryohneQsimEin	202*	der BNetzA gemeldet, plausibel
ExitohneQmaxAus	259*	der BNetzA gemeldet, plausibel
ExitohneQsimAus	605*	der BNetzA gemeldet, plausibel
ExitmitQmaxEin	1	der BNetzA gemeldet, unwesentliche Mengen
ExitmitQsimEin	1	der BNetzA gemeldet, unwesentliche Mengen

* Darin enthalten wenige zusätzliche Punkte aufgrund MRU-Berücksichtigung gemäß Anhang A.1.2.

Quelle: Eigene Darstellung

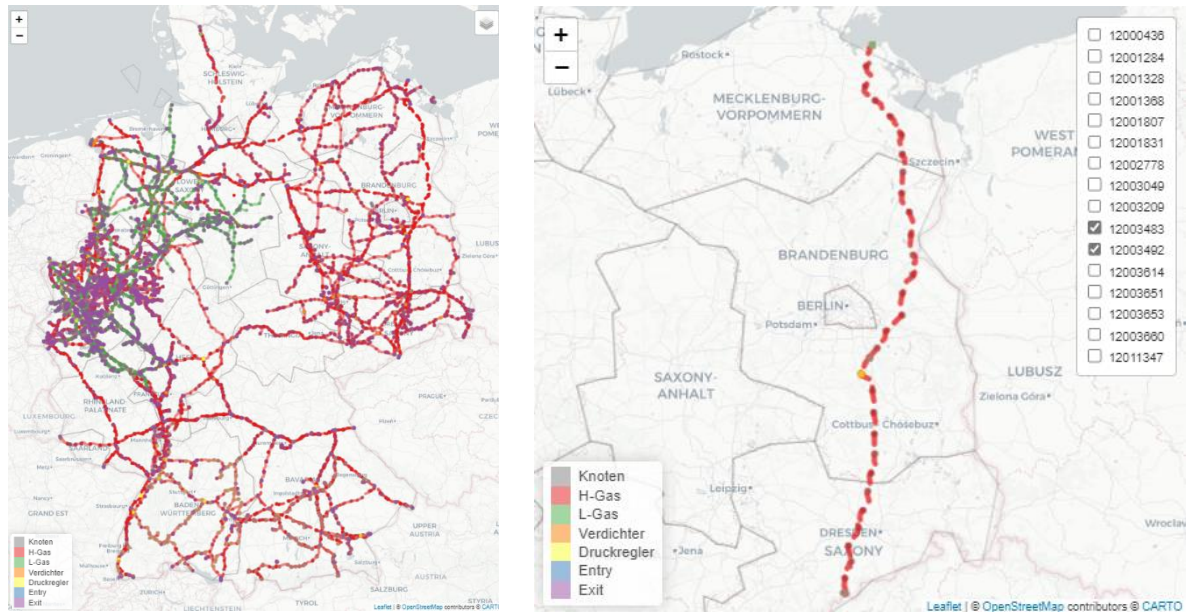
4.3 Analyse der Netzkarten

Aus den georeferenzierten Daten wurden detaillierte Netzkarten erstellt und überprüft.

- In einer gemeinsamen Netzkarte wurden Einspeisepunkte (blau), Ausspeisepunkte (violett), Druckregler (gelb) und Verdichter (orange), Knoten (grau) sowie alle Leitungsabschnitte (grün für L-Gas und rot für H-Gas. Leitungen in Bruchteilseigentum wurden mit gestrichelten Linien eingezeichnet) dargestellt. Die gemeinsame Netzkarte ist in **Anhang D** abgebildet.
- Je Netzbetreiber wurde zudem eine Karte erstellt, wobei zusätzlich nachfolgende Informationen eingetragen wurden: Polygonflächen gemäß Anhang A.2.6, Art der Einspeise- und Ausspeisepunkte (NKP, Speicher, Biogas, etc.) sowie einblendbare Jahresarbeit und -höchstlast je Punkt.

Abbildung 16 zeigt die Netze aller Gasnetzbetreibe. In der Abbildung rechts wurden zwei Netzanbieter mit Bruchteilseigentum ausgewählt, sichtbar am gestrichelten Linienvorlauf. Die überlappenden Verläufe zeigen, dass die gemeldeten Verläufe und Punkte konsistent zueinander liegen.

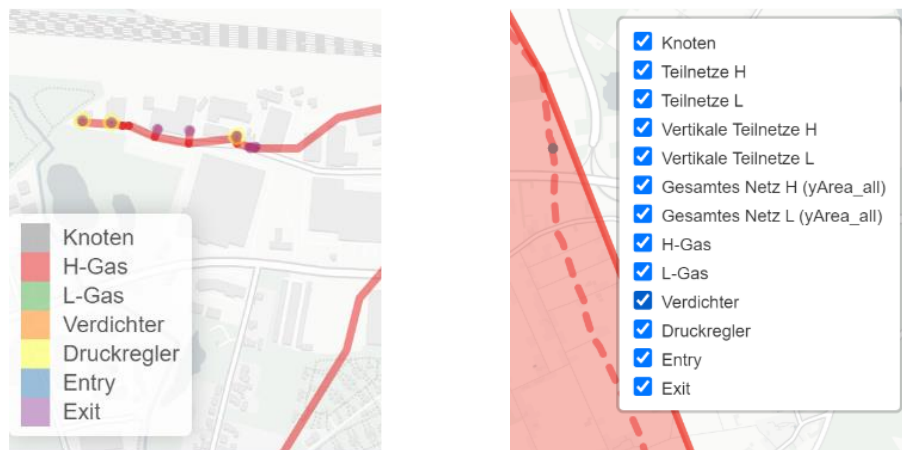
Abbildung 16: Darstellung Netzkarten deutschlandweit



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 17 illustriert die netzbetreiberscharfen Daten. Rechts gezeigt ist wiederum ein Linienvverlauf im Bruchteilseigentum (gestrichelte Linie) sowie die ermittelte Begrenzung der Polygonfläche.

Abbildung 17: Darstellung Netzkarte (netzbetreiberscharf)



Quelle: Eigene Darstellung

Anhand der Karten wurden u. a. folgende Prüfungen vorgenommen:

- Sind Übergangspunkte zwischen den Netzbetreibern korrekt abgebildet?
- Stimmen die Leitungsangaben mit öffentlich verfügbaren Netzplänen überein?
- Sind die Punkte zusammenhängend?
- Sind die Leitungsanordnungen plausibel?
- Sind die Druckangaben plausibel?

Im Ergebnis kann Folgendes festgehalten werden:

- Die Netzbetreiber haben insgesamt hochwertige und weitgehend kohärente Angaben bereitgestellt³⁹;
- Der Detailabgleich mit den Siedlungskarten ist stimmig;
- Teilweise unvollständige Teilnetze (alleinstehende Punkte);
- Wegen spezieller Leitungskonstellationen können unvollständige Teilnetze entstehen, welche eigentlich angebunden sind. Den Netzbetreibern wurde daher von der BNetzA die Möglichkeit eingeräumt, gegebenenfalls komplettierende Punkte zu melden. Drei Netzbetreiber haben hiervon Gebrauch gemacht (vgl. auch Anhang A.1.2).

Mit Blick auf die weiteren Analysen zeigen die Karten, dass die Netzbetreiber sich in ihrer Versorgungsaufgabe teils unterscheiden, insbesondere konzentriert sich ein Teil der FNB vorrangig auf den Transport über lange Strecken in Netzen mit geringer Verzweigung und einer geringen Zahl von Netzanschlusspunkten, während andere FNB zu einem erheblichen Anteil auch verteilende Aufgaben übernehmen. Diese Heterogenität ist bereits aus den vorherigen drei Regulierungsperioden bekannt. Ihr wird an verschiedenen Stellen im Projekt Rechnung getragen.

4.4 Plausibilität gemeinsamer Datensatz

Zur Feststellung der Plausibilität der gemeldeten Daten wurde der gemeinsame Datensatz eingehend untersucht. Die Prüfungen wurden nach jeder Datenlieferung der BNetzA durchgeführt und Auffälligkeiten wurden der BNetzA regelmäßig mitgeteilt, um zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Datenlage beizutragen (vgl. auch Abschnitt 4.1.1 oben).

Die Ergebnisse sind nachfolgend wie folgt gegliedert:

- Vergleich mit den Basisjahrdaten aus der RP3 in Abschnitt 4.4.1;
- Prüfung der Verhältnisse zwischen Aufwandsparametern in Abschnitt 4.4.2;
- Prüfung der Vergleichsparameter in Abschnitt 4.4.3, dabei insbesondere auch
 - Prüfung der Angaben zu den gemeldeten Anlagen innerhalb der Strukturdaten II sowie auf Ebene vollständiger Teilnetze;
 - Prüfung von Verhältnissen zwischen Vergleichsparametern;
- Prüfung der Verhältnisse zwischen Aufwands- und Vergleichsparametern in Abschnitt 4.4.4, darunter die Parameter der RP3, eine Analyse der Unit Costs sowie eine Auswertung von Korrelationstabellen;
- Erneute Prüfung der im Effizienzvergleich ausgewählten Vergleichsparameter.

³⁹ Den FNB wurde von der BNetzA die Möglichkeit gewährt, für die Bestimmung der Trassenverläufe GIS-Daten in genauerer Auflösung zu übermitteln. Ebenso wurden Stützpunktdaten der Leitungen übermittelt.

4.4.1 Parametervergleich RP3/RP4

Im Rahmen der Plausibilisierung wurden die Parameterwerte aus RP4 mit jenen aus RP3 verglichen.

Abbildung 18 zeigt das Verhältnis der Parameterwerte der RP4 zur RP3 sortiert nach cTotexN. Rote Felder bedeuten, dass die Werte abgenommen haben bzw. der Wert der RP3 höher als derjenige der RP4 war. Blaue Felder bilden eine Wertentwicklung in die andere Richtung ab. Je blauer die Felder, desto grösser sind die Werte der RP4 im Vergleich zur RP3. Der obere Teil zeigt die Kosten und die Assets (inputorientierte Parameter, welche die Netzkomponenten abbilden wie z. B. Anzahl Verdichter), der untere Teil die Veränderung der Mengen (Arbeit, Leistung, damit gebildete TM/TWM-Parameter).

Abbildung 18: Parameterwerte RP4 pro RP3 sortiert nach cTotexN



Quelle: Eigene Darstellung

Aus dem Abgleich resultieren folgende Erkenntnisse:

- Die Kosten sind selten stark erhöht, Assets sind oft gestiegen (insb. Rohrgeometrie, Punkte) und haben sich seltener reduziert;
- Bei Mengen (insb. Lasten) gab es größere Änderungen.

Mögliche Gründe für die Unterschiede zwischen den Parametern aus der dritten und der aktuellen Regulierungsperiode:

- Zum Teil Unterschiede in der Datenerhebung im Vergleich zur RP3, z. B.:
 - Möglichkeit der Angabe von Stützpunkten und separaten GIS-Daten führte teils zu genaueren Leitungsverläufen und so angepassten Flächen;
 - Angepasste Definition der Verdichterleistung;

- Neue Vorgabe der BNetzA zu zeitungleicher und zeitgleicher Jahreshöchstlast bei Fremdnutzungsanteilen:
 - Zeitungleiche Jahreshöchstlast: Aufteilung des Maximalwerts je Punkt auf die beteiligten FNB-Partner;
 - Zeitgleiche Jahreshöchstlast: Darf an einem Punkt zusammengefasst nicht höher sein als der Maximalwert des Lastgangs.
- Teils angepasste Parameterbildung:
 - Verzweigungen und Maschen werden neu nur für vollständige Teilnetze berechnet;
 - Separierung Gaspool.
- Zum Teil lagen strukturelle Gründe vor. Die BNetzA ist für alle auffälligen Änderungen bei den Netzbetreibern vorstellig geworden. Begründungen waren insbesondere:
 - Netzübergänge, Leitungsbau;
 - Marktraumumstellung;
 - Veränderungen der Kosten.

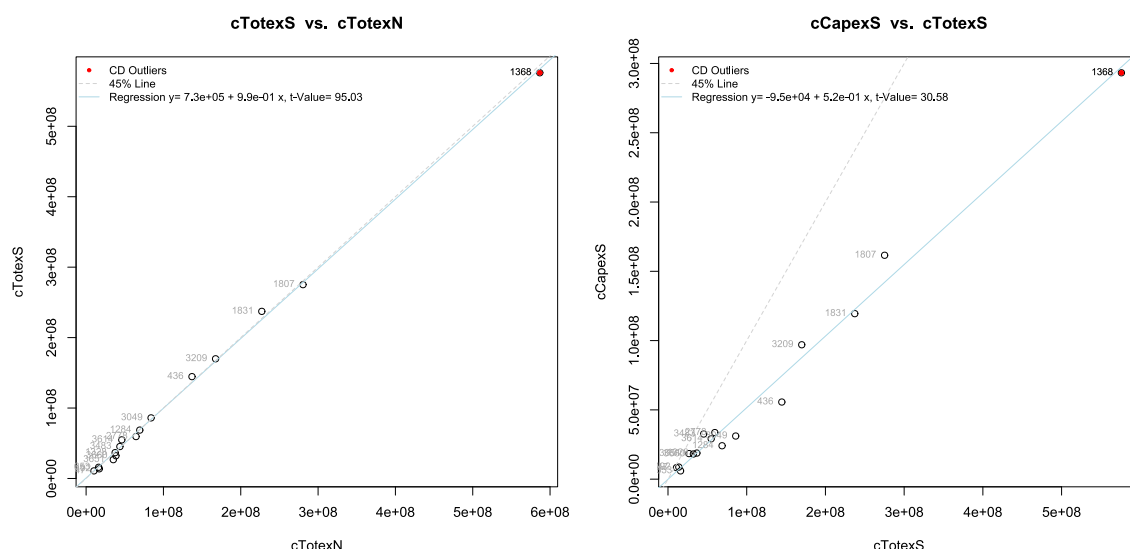
4.4.2 Prüfung der Aufwandsparemeter

Die Prüfung der Verhältnisse zwischen Aufwandsparemetern hat keine unerklärbaren Auffälligkeiten ergeben. Ausgewählte Erkenntnisse aus der Prüfung sind:

- Die beiden Aufwandsparemeter c_{TotexN} und c_{TotexS} liegen nahe beieinander (siehe Abbildung 19 links);
- Die verschiedenen Netzbetreiber zeigen eine ähnliche Kapitalintensität auf (siehe Abbildung 19 rechts);
- 1368 als größter Netzbetreiber ist i. d. R. Cooks-Distance Ausreißer⁴⁰ (bei Aufwandsparemetern, aber auch vielen Vergleichsparemetern): Dies ist vorliegend für die OLS-Analysen (Ordinary Least Squares) im Rahmen der Modellentwicklung relevant, nicht aber a priori für den eigentlichen Effizienzvergleich, da hier nur eine DEA zur Anwendung kommt. Die Unit Cost Analyse (vgl. Abschnitt 4.4.4) ergibt, dass 1368 bei den gebildeten Einzelparametern wenig Potenzial als Peer zeigt.

⁴⁰ OGE stellt in der Regression über alle Netzbetreiber ein Datenpunkt dar, der einen massgeblichen Einfluss auf die Lage der Regressionsgeraden aufweist.

Abbildung 19: Aufwandsparameter



Hinweis: Die gestrichelte Linie stellt die 45 Grad-Linie dar, die hellblaue die Regressionsgerade einer Regression des einen Parameters auf den anderen. Die zugehörige Regressionsgleichung inkl. Schätzkoeffizienten und t-Wert sind in der Legende angegeben. T-Werte über 1.97 zeigen eine Signifikanz an, die über dem 95%-Intervall liegt.

Quelle: Eigene Darstellung

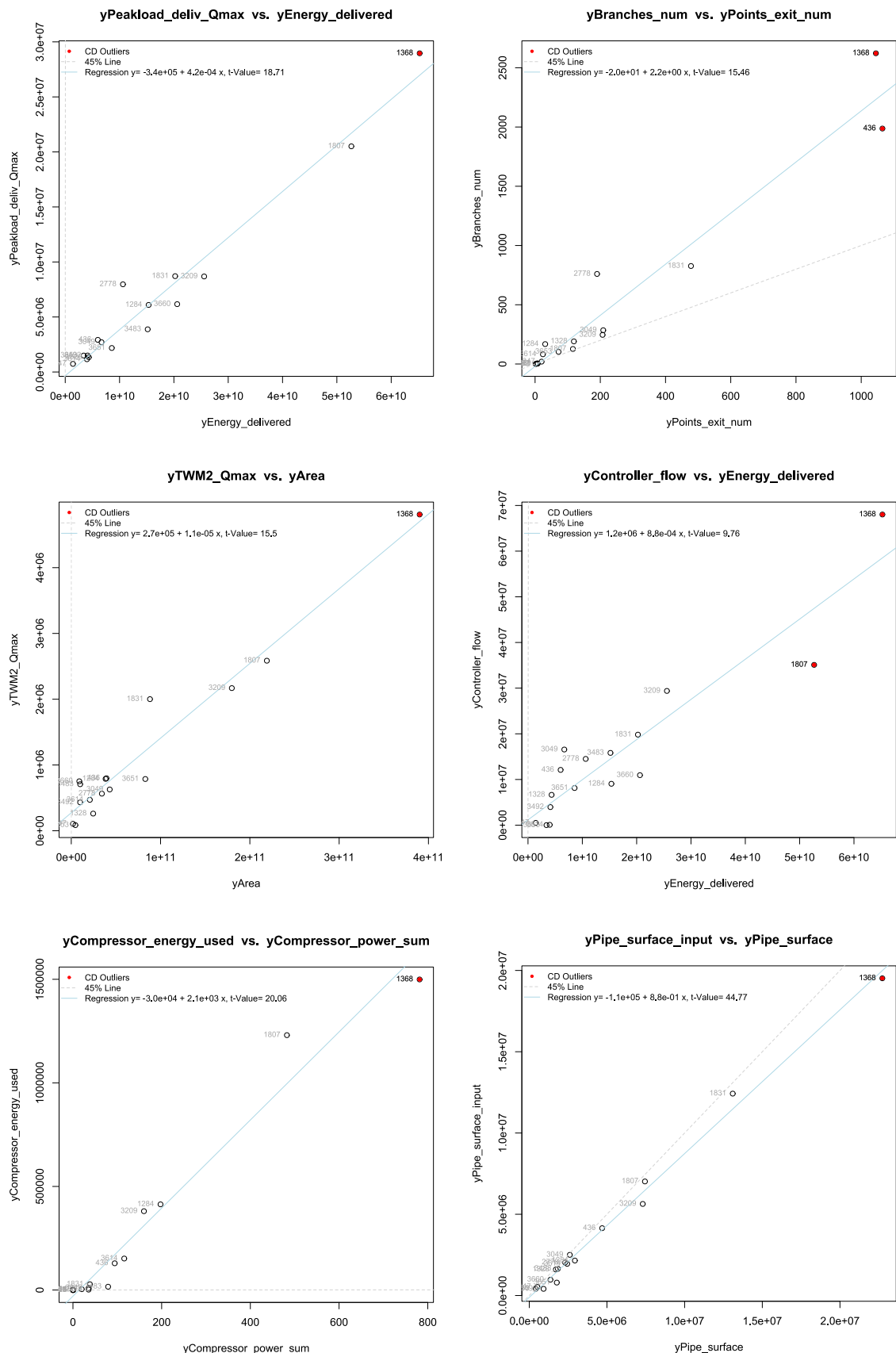
4.4.3 Prüfung der Vergleichsparameter

Die aus den Angaben der Netzbetreiber gemäß Anhang A berechneten Vergleichsparameter wurden einzeln eingehend untersucht, untereinander mittels generierten Streudiagrammen verglichen und auf unplausible Ausreißer hin geprüft. Verglichen wurden insbesondere Parameter innerhalb der Gruppen gemäß Tabelle 6 sowie ausgewählte Parameter verschiedener Gruppen untereinander.

Wenngleich sich die Netzbetreiber teils deutlich hinsichtlich ihrer Größe unterscheiden, so stehen die Parameter i. d. R. in einem klaren Zusammenhang zueinander, weshalb oft hohe Korrelationen resultieren. Ausreißer sind selten bzw. wo solche vorliegen, können diese aufgrund der Begebenheiten der Netzbetreiber nachvollzogen werden. Nachfolgend einige ausgewählte Erkenntnisse im Zusammenhang mit **Abbildung 20**:

- Das Verhältnis Arbeit zu Last verläuft erwartungsgemäß mit unterschiedlicher Auslastung zwischen den Netzbetreibern;
- Die Ausspeisepunkte und die Anzahl Verzweigung weisen einen linearen Zusammenhang auf, jedoch mit konstant mehr Verzweigungen als Punkten;
- TWM2 und Polygonfläche weisen einen linearen Zusammenhang zueinander auf;
- Die Arbeit und die Nenndurchfluss der Druckregler, die Verdichterleistung und Treibenergie sowie die beiden Varianten der Mantelfläche weisen ebenfalls stark signifikante Zusammenhänge auf;
- Generell liegen im Wesentlichen lineare Zusammenhänge vor.

Abbildung 20: Zusammenhang ausgewählter Vergleichsparameter



Quelle: Eigene Darstellung

Schiefstände und Teilnetzanalyse

Im Lauf der Datenvalidierungen zeigten sich substanzielle Schiefstände der Netzbetreiber, d. h. Ein- und Ausspeisung waren bei Qjahr, Qsim und/oder Qmax nicht ausgeglichen. Die Analyse erfolgte auf Ebene Deutschland, Gasqualität, Marktgebiete, Netzbetreiber und vollständige Teilnetze⁴¹ je Netzbetreiber.

Abbildung 21 zeigt die vorhandenen Schiefstände der Netzbetreiber im Datensatz sowie die Anzahl der zugehörigen Teilnetze je Netzbetreiber. Demnach gibt es 44 vollständige Teilnetze im Datensatz. Daneben bestehen 335 unvollständige „Teilnetze“, i. d. R. sind dies einzelne Punkte, teils auch kleinere Netze, bei denen einzelne Bedingungen zu Vollständigkeit⁴² nicht erfüllt sind.

Abbildung 21: Schiefstände und Teilnetzvollständigkeit

Auswertung Alle Teilnetze				Verhältnis Ein- zu Ausspeisung			Teilnetzvollständigkeit	
		Kumuliert je Netzbetrei	rQjahr	rQsim	rQmax	Vollständig	Unvollständig	
		12000436		125%	125%	150%	6	105
		12001284		96%	95%	95%	1	0
		12001328		101%	104%	94%	6	17
		12001368		107%	100%	108%	3	66
		12001807		100%	98%	98%	1	4
		12001831		94%	96%	95%	3	114
		12002778		101%	99%	95%	8	3
		12003049		99%	90%	81%	1	4
		12003209		123%	120%	109%	3	19
		12003483		100%	160%	125%	1	0
		12003492		101%	23%	55%	1	0
		12003614		119%	118%	211%	1	0
		12003651		109%	76%	67%	1	0
		12003653		100%	98%	104%	6	1
		12003660		101%	88%	73%	1	1
		12011347		100%	90%	57%	1	1
							44	335
	270	Gasqualität	H	105%	102%	103%		
	109	Gasqualität	L	104%	95%	89%		
N	198	Marktgebiet		106%	101%	108%		
G	181	Marktgebiet		104%	102%	96%		
	379	Summe NB	H+L	105%	101%	101%		
N+G	379	Summe NB		105%	101%	101%		

Quelle: Eigene Darstellung

Bei ausgeglichenen Teilnetzen entsprechen die Einspeisemengen den Ausspeisemengen. Die Ausgeglichenheit der Netze ist unterschiedlich:

- Deutschlandweit, nach Marktgebiet und Gasqualität sind die Netze grob ausgeglichen;
- Nach Netzbetreibern gibt es teils große Unterschiede (auch bei Jahresarbeit);
- Nach Teilnetzen gibt es teils ausgeprägte Differenzen zwischen Ein- und Ausspeisung. Der Parameter TWM2 ist eine Antwort auf die teils stark unausgeglichenen Teilnetze.

⁴¹ Damit ein Teilnetz als vollständig gilt, muss dieses über mindestens je einen Ein- und Ausspeisepunkt verfügen, welche nicht am gleichen Ort sind und über eine Leitung verbunden sind (Details vgl. A.1.2).

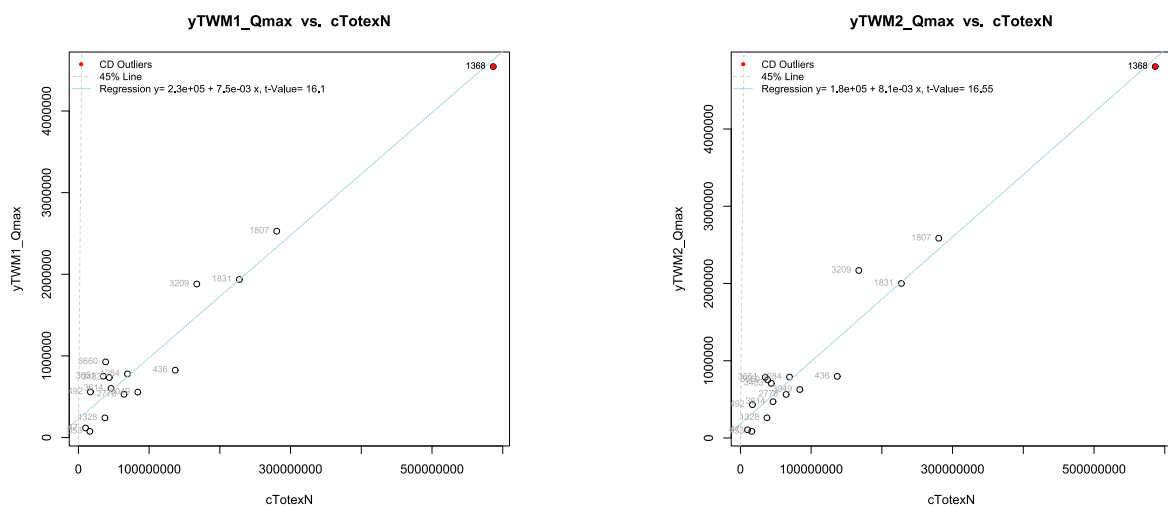
⁴² Vgl. Fussnote 41.

Bei sieben Teilnetzen ist die Jahreshöchstlast eines einzelnen Punktes grösser als die gesamte «kleinere Seite», d. h. bei diesen Punkten wurde die Menge beim TWM2 jeweils nie mit dem angegebenen Maximum bewertet, sondern mit der Summe der kleineren Seite (vgl. Vorgehen in Abschnitt A.2.8), wobei die Gesamtmenge der so herunterskalierten Mengen sowohl im Bezug auf die Gesamtmenge der Netzbetreiber als auch je Netzbetreiber sehr gering ist.

Umgang Schiefstände: TWM1 vs. TWM2

Beim TWM1 werden die Werte auf der «kleineren Seite»⁴³ hochskaliert. Hingegen werden beim TWM2 die Werte mit dem im Anhang A.2.8 beschriebenen Verfahren durch Iterationen berechnet, was es weitgehend ermöglicht, die effektiv gemeldeten Qmax-Mengen zu verwenden. Wie in **Abbildung 22** illustriert, resultiert beim TWM2 eine leicht kleinere Streuung zu den Kosten insbesondere bei den kleineren Netzbetreibern, insgesamt zeigt sich ein leicht höherer t-Wert beim TWM2 gegenüber dem TWM1.

Abbildung 22: Korrelation von TWM1/2 mit den Kosten

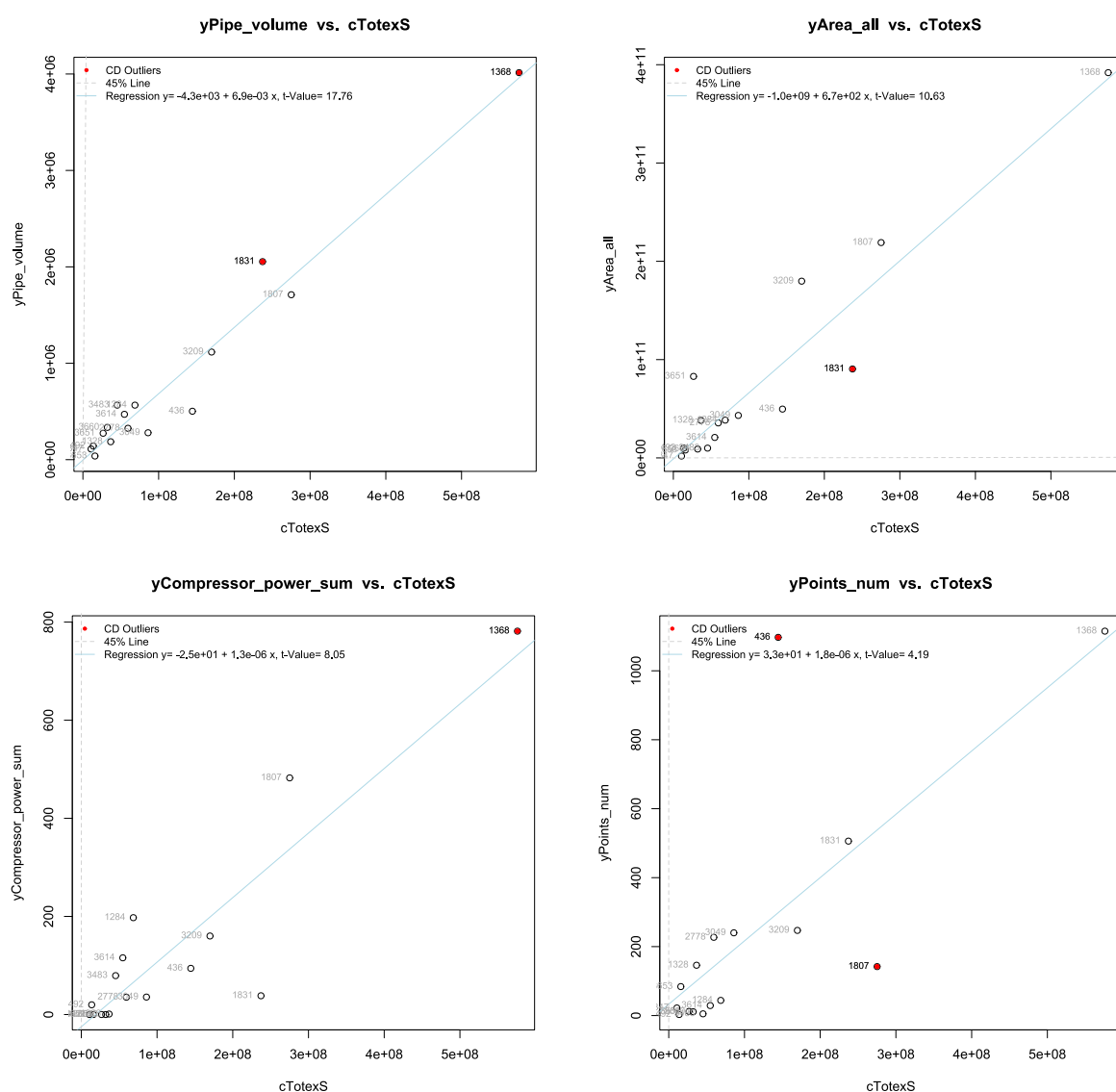


Vergleichs- und Aufwandsparameter: Modell EFG3

Abbildung 23 zeigt die Zusammenhänge der standardisierten Kostenparameter mit den in der RP3 im finalen Modell verwendeten Parameter Rohrvolumen, Gesamtfläche (yArea_all), Verdichterleistung und Anzahl Ein- und Ausspeisepunkte.

Trotz der Änderungen in den Daten sind robuste Zusammenhänge feststellbar. Insbesondere das Rohrvolumen steigt recht einheitlich mit der Größe. Anschlusspunkte, Verdichter und Fläche sind weniger klar, aber immer noch stark signifikant mit den Kosten korreliert und ermöglichen im Modell eine umfassendere Abbildung der Heterogenität der Netzbetreiber.

Abbildung 23: Streudiagramme Kostenparameter und Vergleichsparameter aus EFG3



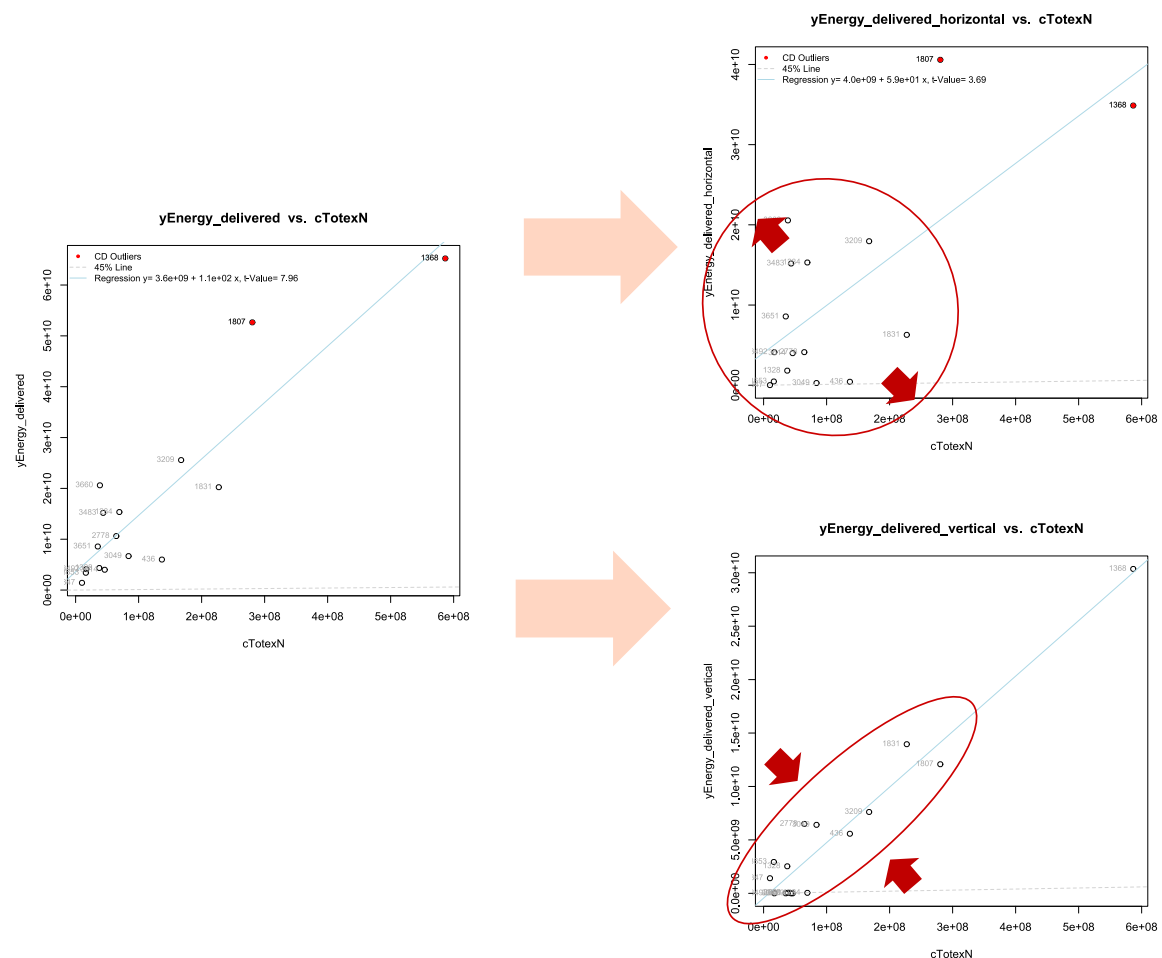
Quelle: Eigene Darstellung

Kostenkorrelation vertikaler Parameter

Mit Blick auf eine möglicherweise höhere Kostenintensität von vertikalem gegenüber horizontalem Transport wurden die vertikalen Parameter einschließlich der vertikalen Fläche näher untersucht.⁴⁴ Wie nachfolgend gezeigt, ändert eine Aufteilung von vertikalem und horizontalem Transport die Korrelation zu den Kostenparametern deutlich.

Abbildung 24 zeigt am Beispiel der Jahresarbeit auf, dass bei der alleinigen Berücksichtigung der vertikalen Arbeit die Streuung zurückgeht (unten rechts). Wenn hingegen nur die horizontale Arbeit berücksichtigt wird (oben rechts), erhöht dies die Streuung. Das gleiche Bild findet sich auch bei der Höchstlast (nicht dargestellt).

Abbildung 24: Aufteilung Jahresarbeit in horizontale und vertikale Komponente

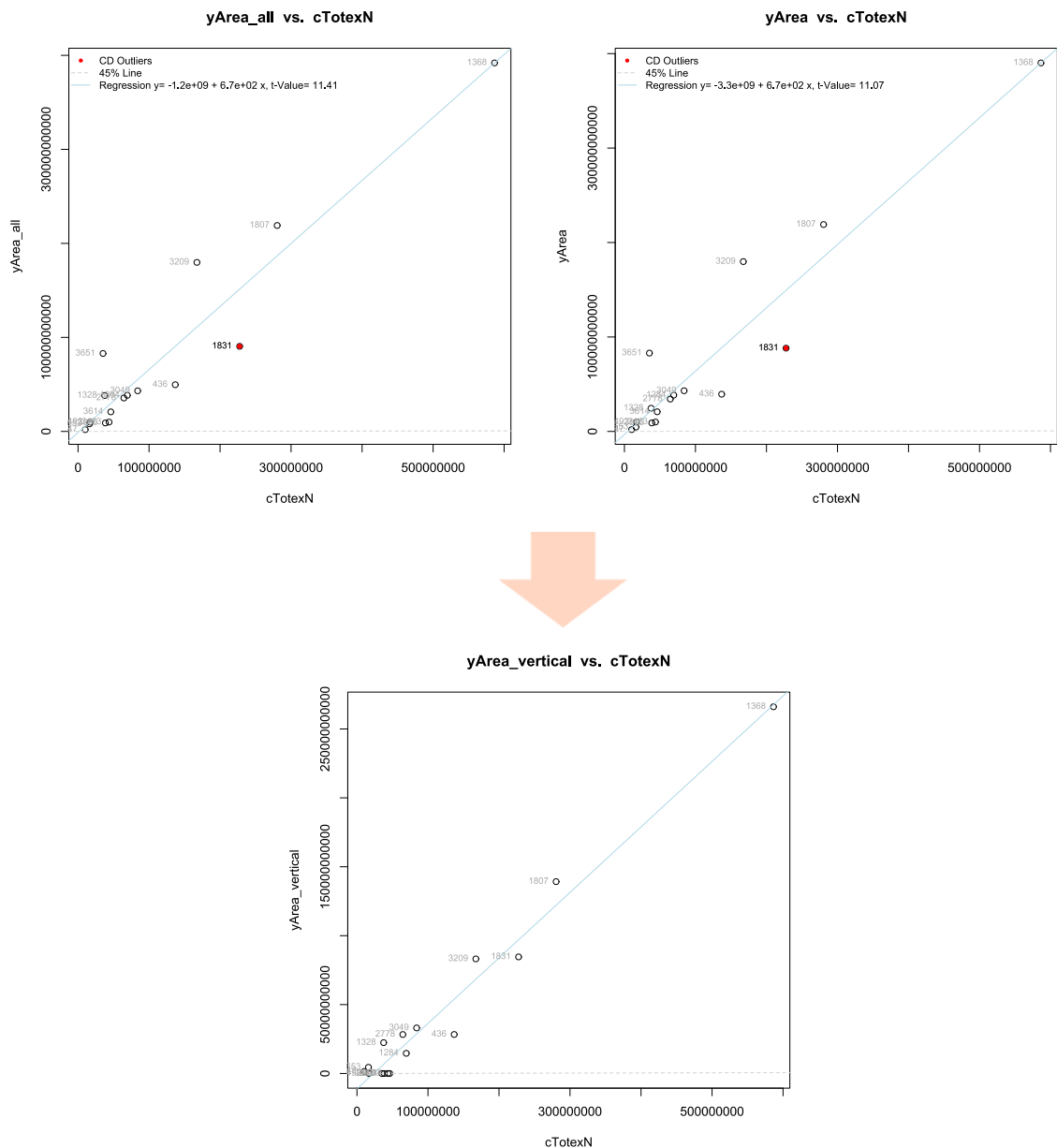


Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 25 zeigt die verschiedenen Korrelationen der Flächenparameter mit den Kosten auf. Die vertikale Fläche (yArea_vertical) korreliert besser mit den Kosten und weist im Gegensatz zu yArea_all und yArea keinen Cooks-Distance-Outlier auf.

⁴⁴ Für die genaue Definitionen der Parameter siehe Anhänge A.2.2, A.2.3 und A.2.5.

Abbildung 25: Streudiagramme von Flächenparameter und Kosten



Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassend weisen die vertikalen Parameter eine geringere Streuung und weniger Ausreißer auf. Der umgekehrte Effekt ist bei den horizontalen Parametern festzustellen insbesondere bezüglich der Streuung.

Parameter-zu-Kostenverhältnis («Unit Costs»)

Schließlich wurden die Verhältnisse von Vergleichs- und Aufwandsparametern geprüft und untersucht, ob mit Blick auf die DEA einzelne Unternehmen bei einem oder mehreren Parametern das beste relative Verhältnis zu den Aufwandsparametern aufweisen.

Oft bei einem Parameter das beste Verhältnis zu haben, nützt jedoch per se nichts (z. B. weist Netzbetreiber 3660 i. d. R. das beste Verhältnis bei der Jahresarbeit aus inkl. Derivaten

wie Transportmoment; wird die Arbeit jedoch nicht ins Modell aufgenommen, nützt dies dem Netzbetreiber nichts).

Aus der Untersuchung geht hervor, dass sich die «Unit Cost Leaders» gut über die verschiedenen Netzbetreiber verteilen. Insbesondere gibt es keine extreme Dominanz eines einzelnen Netzbetreibers. Ebenfalls gibt sich für die zwei Kostenarten ein ausgewogenes Bild: Netzbetreiber, die bei einem Parameter bei c_{TotexN} das beste Verhältnis haben, haben dies i. d. R. auch bei c_{TotexS} . Die Ausnahme bildet Netzbetreiber 3614, der zweimal das beste Verhältnis aufweist jeweils nur bei c_{TotexS} .

Insgesamt sind bei den gebildeten Vergleichsparametern keine Ausreißer oder Auffälligkeiten aufgefallen, die nicht in der spezifischen Ausprägung der Versorgungsaufgabe begründet liegen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass Ausreißer im Datensatz durchaus vorliegen können und entsprechend beim Effizienzvergleich die vorgesehenen Auffälligkeits- und Ausreißeranalysen mit aller Sorgfalt durchzuführen sind.

4.5 Prüfung der finalen Parameter

Schließlich erfolgte eine gesonderte Prüfung der im finalen Effizienzvergleichsmodell berücksichtigten Vergleichsparameter. Dabei werden insbesondere Extremwerte kontrolliert sowie Parameterwerte, bei denen ein Netzbetreiber das beste Verhältnis zu den Aufwandsparametern aufweist (da dieses entscheidend ist, ob ein Netzbetreiber zum Peer wird).

Sowohl die analytischen Untersuchungen als auch der spezifische Abgleich mit öffentlich verfügbaren Daten haben keine Auffälligkeiten gezeigt bzw. die angegebenen Werte konnten validiert werden.

4.6 Fazit der Datenvalidierung und deskriptive Statistiken der Parameter

Die Datenqualität konnte im Verlauf des Projekts ausgehend von einer bereits guten Basis weiter erhöht werden. Die verwendeten Daten sind formal korrekt, plausibel und liegen in guter Qualität vor:

- Aus der formalen Prüfung geht hervor, dass die Angaben im Wesentlichen formal korrekt und vollständig sind, die Ausnahmen wurden behoben bzw. haben keine Auswirkungen auf den Effizienzvergleich;
- Aus der analytischen Prüfung geht hervor, dass sich der Datensatz substantiell von der RP3 unterscheidet (neue Betreiber, teils substantielle Änderungen der Parameterwerte); insgesamt ergibt sich aber bei den Parameterverhältnissen ein sehr ähnliches Bild wie in der RP3 (z. B. bezüglich Korrelationen);
- Die georeferenzierten Daten sind stimmig und die Netzabbildungen sind weitgehend konsistent;

- Die Netzbetreiber und Teilnetze sind hingegen teilweise stark unausgeglichen betreffend Ein- und Ausspeisemengen. Bei Mengenparametern (JA, JHL) ist es potenziell kritisch, ob die Ein- oder Ausspeiseseite gewählt wird. Die Parameter TM/TWM1 sind allenfalls verzerrt, der weiterentwickelte Parameter TWM2 wirkt dem entgegen;
- Im Wesentlichen ergeben sich lineare Zusammenhänge zwischen Aufwandsparametern, zwischen Vergleichsparametern und auch zwischen Aufwand- und Vergleichsparametern. Die Unit-Cost-Analyse zeigt keine klare Dominanz eines Netzbetreibers bei einer Vielzahl von unterschiedlich gearteten Parametern.
- Die Aufwand- und Vergleichsparameter korrelieren generell wie erwartet oft sehr gut miteinander auch dann, wenn der größte Netzbetreiber nicht berücksichtigt wird.

Insgesamt liegt somit ein valider Datensatz zur Anwendung im Effizienzvergleich vor. Ausgewählte deskriptive Statistiken des finalen Datensatzes sind in Anhang B dargestellt.

5 Effizienzvergleich

5.1 Vorgehen

Ausgehend von den Ergebnissen der KTA Ing und den validierten Daten wird in diesem Kapitel der eigentliche Effizienzvergleich dokumentiert. **Abbildung 1** auf Seite 17 stellt das gewählte Vorgehen im blauen Bereich dar:

- Zunächst werden die für den Effizienzvergleich eingesetzten **Methoden und Gütekriterien** definiert, diskutiert und erläutert (nachfolgend Abschnitt 5.2);
- Im Rahmen einer **KTA Oec** werden vorbereitende Arbeiten ausgeführt, darunter Gruppen- und Korrelationsanalysen und Betrachtungen zur optimalen Modellgröße (nachfolgend Abschnitt 5.3);
- Danach erfolgen die Analysen mehrstufig:
 - Im Rahmen der **Modellspezifikation** werden mittels vier verschiedener Verfahren anhand von sogenannten Durchschnittskostenmodellen bzw. Regressionsanalysen **optimale Parameterkombinationen** hinsichtlich ihrer Eignung als Kostenfunktion und Grundmodell für den Effizienzvergleich hergeleitet. Bei allen Verfahren werden mittels robuster Regression Auffälligkeitsanalysen durchgeführt. Die Arbeiten sind nachfolgend in Kapitel 5.4 dargestellt;
 - Die Grundmodelle werden danach auf ihre Eignung als **Effizienzgrenze** geprüft und aus konzeptioneller und regulatorischer Sicht in verschiedenen Streams weiterentwickelt, die analytisch ähnliche Modelle bündeln. Hierbei werden u. a. Ausreißeranalysen bezogen auf die Effizienzgrenze durchgeführt und die bestabgerechneten Effizienzwerte bestimmt. Die geeignetsten Modelle werden ebenfalls als Kostenfunktion und mittels Second-Stage-Analysen überprüft. Bei den Analysen wird eine Permutation aller möglichen Modellkombinationen systematisch ausgewertet. Zum Schluss wird das Modell gewählt, im Detail spezifiziert und erneut validiert, welches die gesetzten konzeptionellen, statistischen und regulatorischen Gütekriterien am besten erfüllt (nachfolgend Kapitel 5.5).

5.2 Methoden und Kriterien

Die zentrale Herausforderung beim Effizienzvergleich ist es, von den zur Auswahl stehenden Parametern gemäß Anhang B diejenigen zu identifizieren, die konzeptionell sinnvolle Kostentreiber sind und sich gegenseitig gut ergänzen.

Methoden

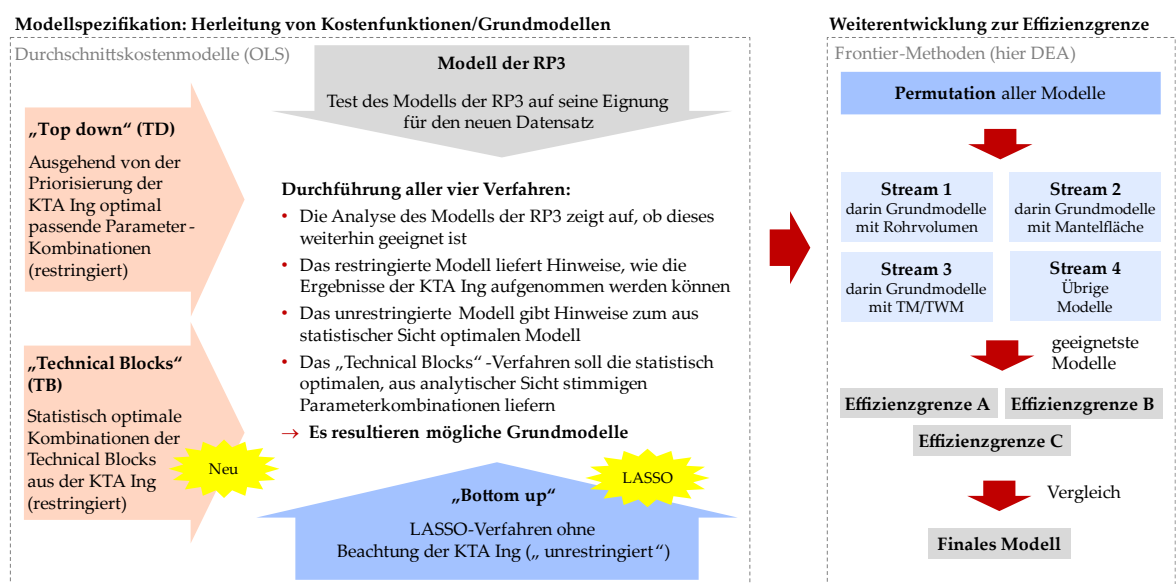
Die angewendeten Methoden inkl. relevanter methodischer Entscheidungen werden nachfolgend direkt in den einzelnen Kapiteln vorgestellt.

In **Abbildung 26** ist das Zusammenspiel der Herleitung von Grundmodellen bei der Modellspezifikation mit Durchschnittskostenmodellen (linke Seite) und der Weiterentwicklung der Grundmodelle gestützt auf die zur Verfügung stehenden Frontier-Methoden (hier DEA) dargestellt (rechte Seite):

- Die Modellspezifikation erfolgt mittels vier komplementärer Verfahren und resultiert zunächst in verschiedenen Grundmodellen.
- Diese werden in verschiedenen Streams gebündelt und gestützt auf eine Permutation aller möglichen Modelle weiterentwickelt – je ein Stream pro laut KTA Ing primärem Vergleichsparameter. Es werden also Modelle mit Rohrvolumen, Mantelfläche und TWM gesondert untersucht. Dazu kommt eine Auswertung aller noch nicht behandelten Modelle in einem vierten Stream.
- Die geeignetsten resultierenden Modelle werden einander im Detail entlang der gesetzten statistischen, konzeptionellen und regulatorischen Kriterien gegenübergestellt, um das finale Modell zu wählen.

Mit diesem gesamtheitlichen Ansatz ist sichergestellt, dass Herausforderungen bei der Modellbildung wie Pfadabhängigkeit oder analytische Fehleinschätzungen in einem späteren Schritt gegebenenfalls korrigiert werden können.

Abbildung 26: Verfahren bei der Modellbildung zur RP4



Quelle: Eigene Abbildung

Kriterien für die Beurteilung von Modellen

Das finale Modell soll den folgenden Kriterien möglichst gut entsprechen, wobei konzeptionelle, statistische und regulatorische Kriterien unterschieden werden:

- **Konzeptionelle Kriterien**
 - Möglichst einfache Interpretation der Parameter und des Modells;
 - Aufbauend auf ingenieurwissenschaftlicher Kostentreiberanalyse (Kapitel 3);

- Möglichst vollständiges Modell: Wenn möglich, sollen neben den Netzebenen (vorliegend alle Druckstufen beispielsweise dargestellt über Rohrvolumen) auch alle drei Versorgungsdimensionen – Transport, Kapazität- und Dienstleistungsbereitstellung – abgebildet werden, wobei die letzten beiden Dimensionen gemäß Abschnitt 3.2.2 als „need to have“ behandelt werden.
- Die Eigenschaften der Modellspezifikation sollen eine solide ökonomische Grundlage in der Produktionstheorie haben.
- **Statistische Kriterien**
 - Unverzerrte, konsistente und effiziente Schätzer;
 - Signifikante Parameter mit richtigem Vorzeichen;
 - Die detaillierten statistischen Anforderungen finden sich in den Abschnitten 5.4.1 und 5.5.1 nachfolgend.
- **Regulatorische Kriterien**
 - Konform mit der ARegV, also insb. Erfüllung aller ARegV-Vorgaben wie:
 - Verwendung möglichst exogener Vergleichsparameter;
 - Verwendung von Vergleichsparametern, die nicht in ihrer Wirkung ganz oder teilweise wiederholend sind, insbesondere nicht bereits durch andere Parameter abgebildet werden;
 - Auswahl von Vergleichsparametern, damit die strukturelle Vergleichbarkeit möglichst weitgehend gewährleistet ist und die Heterogenität der Aufgaben der Netzbetreiber möglichst weitgehend abgebildet wird;
 - Berücksichtigung von Parametern, die möglichst vollständig für alle FNB vorliegen, also Werte inkl. Nullwerte für alle Netzbetreiber vorliegen;
 - Robustheit gegenüber kleinen Datenänderungen;
 - Vermeidung von Parameteraggregationen, bei denen die einzelnen Komponenten in arbiträrer Weise gewichtet werden;
 - Konstanz mit früheren Effizienzvergleichen hinsichtlich des gewählten Modells („Modellkontinuität“) und hinsichtlich der Ergebniskontinuität mit Blick auf Mindest- und Durchschnittseffizienz des Gutachtens EFG3;
 - Beachtung des Vorsichtsprinzips analog zum EFG3.

5.3 Ökonomische Kostentreiberanalyse (KTA oec)

Die KTA Oec findet vorbereitend zur Modellentwicklung statt und hat ein besseres Verständnis der Parameter im Datensatz zum Ziel. Folgende Arbeitsschritte werden durchgeführt:

- Identifikation der wichtigsten Kostentreiber je Parametergruppe im Sinne von Parametern, welche die Kostenunterschiede zwischen den FNB am besten erklären können;

- Korrelationsanalyse zur Entwicklung eines Grundverständnisses für Zusammenspiel und Wirkungsweise der verschiedenen Parameter im Datensatz;
- Analyse zur optimalen Anzahl von Parametern, die im späteren Effizienzvergleichsmodell idealtypisch verwendet werden sollen.

Ausgangspunkt ist die bereits im Rahmen der KTA Ing. vorgenommene konzeptionelle Gruppierung und Einordnung der Parameter nach Versorgungsdimension und Kontrollierbarkeit (vgl. Abschnitt 3.2).

5.3.1 Kostentreibergruppen

Zunächst werden die Parameter entlang der in Tabelle 34 angegebenen Gruppen untersucht. Diese Arbeiten geben Hinweise darauf, welche Parameter sich eher nicht als primäre Kostentreiber eignen. Innerhalb der Gruppen werden die Kostentreiber hinsichtlich ihrer Signifikanz (t-Wert) und ihres Informationsgehalts (BIC) hinsichtlich der Aufwandsparemeter beurteilt. **Tabelle 16** zeigt die Resultate für cTotexS (für cTotexN analog).

Tabelle 16: Gruppenanalyse: Erklärungsgehalt der Parameter bezüglich cTotexS

Parameter	t-Wert	BIC	Parameter	t-Wert	BIC
yEnergy_delivered_vertical	14.16	610.76	yArea_vertical	19.73	600.66
yEnergy_injected	7.86	627.42	yArea_all	10.63	619.15
yEnergy_delivered	7.52	628.56	yArea	10.32	619.99
yEnergy_delivered_horizontal	3.54	644.20			
yPeakload_deliv_Qmax_vertical	11.93	615.84	yCompressor_num	9.17	623.28
yPeakload_injec_Qmax	11.21	617.64	yCompressor_power_sum	8.05	626.79
yPeakload_deliv_Qsim	9.98	620.93	yCompressor_energy_used	6.61	631.80
yPeakload_deliv_Qmax	9.26	623.02	yController_flow	11.17	617.73
yPeakload_injec_Qsim	9.08	623.54	yController_num	1.63	651.65
yPeakload_deliv_Qmax_horizontal	4.86	638.62			
yTWM2_Qmax	15.52	608.02	yPoints_entry_num	5.36	636.58
yTWM1_Qmax	15.08	608.88	yPoints_num	4.19	641.45
yTWM1_Qsim	13.65	611.86	yPoints_exit_num	4.02	642.16
yTWM1_Qjahr	11.73	616.33			
yTM_Qmax_RD	5.53	635.89	yMeshes_num	6.26	633.07
yTM_Qjahr_RD	5.01	638.02	yBranches_num	4.52	640.03
yTM_Qjahr_LD	4.29	641.03			
yTM_Qmax_LD	4.21	641.36	zSoil_BK0267_V02	16.99	605.27
			zSoil_BK567_M02	10.16	620.43
yPipe_volume	17.76	603.90	zSoil_BK4567_V02	9.78	621.51
yPipe_surface	15.51	608.04	zSoil_GB0378_V02	9.78	621.51
yPipe_surface_input	14.47	610.11	zSoil_BK4567_M02	9.46	622.44
yPipe_length	9.86	621.29	zSoil_BK567_V02	8.56	625.15
			zSoil_AK4567_V02	7.01	630.32
			zSoil_AK67_V02	2.87	647.01
			zGeo_NEIG_avg	0.65	653.96

Hinweise: Zum BIC-Kriterium vgl. Abschnitt 5.4.1. t-Werte mit Betrag über 1.96 zeigen eine Signifikanz im 95% Vertrauensintervall des Parameters in der Schätzung an.

Quelle: Eigene Darstellung.

Hieraus lässt sich Folgendes feststellen:

- Es liegen keine negativen Werte vor und mit Ausnahme der Anzahl Druckregler und der mittleren Hangneigung sind alle Parameter hochsignifikant;
- Die vertikale Fläche, Rohrvolumen, Bodenklassen 0267, Mantelfläche sowie TWM1/2 mit $Q_{\max}$ gebildet erklären die Kosten außerordentlich gut (t-Werte über 15, BIC unter 610);
- Vergleichsweise weniger gut als in der RP3 erklärt die Parametergruppe der Höchstlast die Kosten (damals z. B. teils besser als Rohrvolumen)⁴⁵;
- Bei den Bodenparametern erklären die beiden neuen Parameter zu Aufwandklassen, welche die Zusatzkosten der Netzbetreiber für besonders schwierige Bodenverhältnisse am genauesten abbilden dürften, die Kosten der Netzbetreiber erwartungsgemäß in einem geringen Umfang.
- In der Gruppe TM/TWM vermag der neu gebildete Parameter TWM2 die Kostenunterschiede zwischen den Netzbetreibern speziell gut zu erklären, was die diesbezüglichen Überlegungen im Rahmen der KTA Ing untermauert. Ebenso ist die Ausgestaltung mit $Q_{\max}$ erwartungsgemäß derjenigen mit Q_{sim} und Q_{jahr} überlegen.
- Die Anschlusspunkte kommen – wie aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht erwartet – aufgrund ihres vergleichsweise geringeren Erklärungsgehalts nicht als primärer Parameter in Frage, entscheidend für eine etwaige Berücksichtigung wird daher ihre Komplementarität mit anderen Parametern sein. Das Gleiche gilt für Maschen und Verzweigungen.

5.3.2 Korrelationsanalyse

In einem weiteren Schritt wurden die Korrelationen zwischen den Vergleichs- und Aufwandsparametern (c_{TotexN} und c_{TotexS}) sowie zwischen den Vergleichsparametern untereinander analysiert. Dies dient u. a. der Identifikation möglicher Quellen von Multikollinearität einerseits und der Wechselwirkungen der Parameter andererseits.

Abbildung 27 zeigt die Korrelationsmatrix der Aufwand- und Vergleichsparameter. Die ersten beiden Spalten zeigen die Korrelationen mit den beiden Aufwandsparametern.

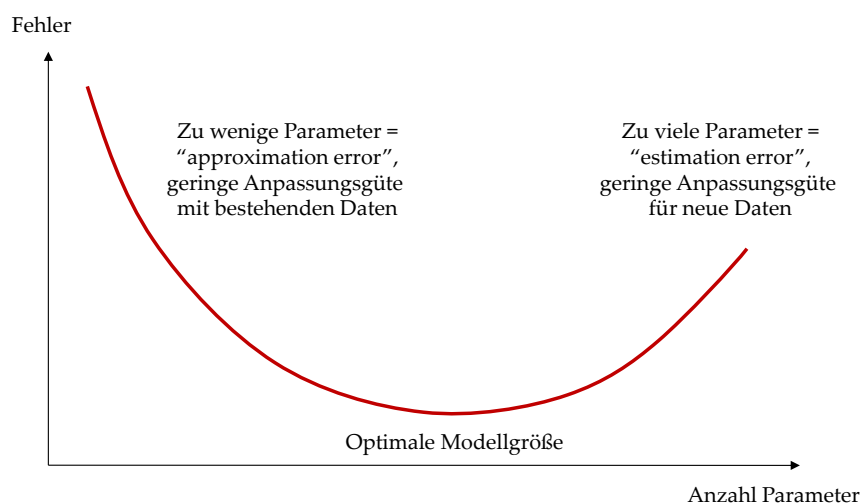
⁴⁵ Vgl. Abschnitt 5.3.1 im EFG3.

den neu vorliegenden, präziseren besonders teuren Aufwandklassen (AK67, Bildung vgl. Anhang A.2.10). Zu erwarten wäre, dass die Gesamtkosten der Netzbetreiber nicht schwergewichtig vom Verlegungsaufwand in besonders teuren Gebieten getrieben sind. Stattdessen sollten die Bodenparameter lediglich punktuelle Unterschiede in zusätzlichen Grabungskosten auf spezifischen Trassen zwischen den Netzbetreibern erklären. Insofern liegen die neuen Parameter der Aufwandklassen eher im Rahmen der Erwartungen.

5.3.3 Untersuchungen zur Modellgröße

Eine wesentliche Frage ist, wie viele Parameter das finale Modell aufweisen soll. Werden aus statistischer Sicht zu wenige Parameter verwendet, ist die Anpassungsgüte des Modells an die Daten zu gering. Ein Modell sollte aber auch nicht zu viele erklärende Variablen enthalten. Bei zu vielen Parametern steigt zwar die Anpassungsgüte laufend, jedoch ist dies zunehmend nur auf Zufall zurückzuführen und das Risiko einer Fehlspezifikation nimmt zu. Das Modell könnte bei einer erneuten Anwendung mit zukünftigen Daten eine deutlich geringere Anpassungsgüte aufweisen, d. h. es müsste davon ausgegangen werden, dass sich das Modell in künftigen Regulierungsperioden nicht mehr eignet. Ebenfalls verfehlt ein solches Modell das Ziel, effiziente und ineffiziente Netzbetreiber zu differenzieren. **Abbildung 28** zeigt diesen Zusammenhang auf.

Abbildung 28: Illustration optimale Modellgröße



Quelle: EVS2

In der zweiten Regulierungsperiode wurde ein Modell mit drei Parametern gewählt, in der dritten Regulierungsperiode wurde, auch aufgrund einer gestiegenen Anzahl an Netzbetreibern und in Anwendung des Vorsichtsprinzips, ein zusätzlicher vierter Parameter eingeführt.

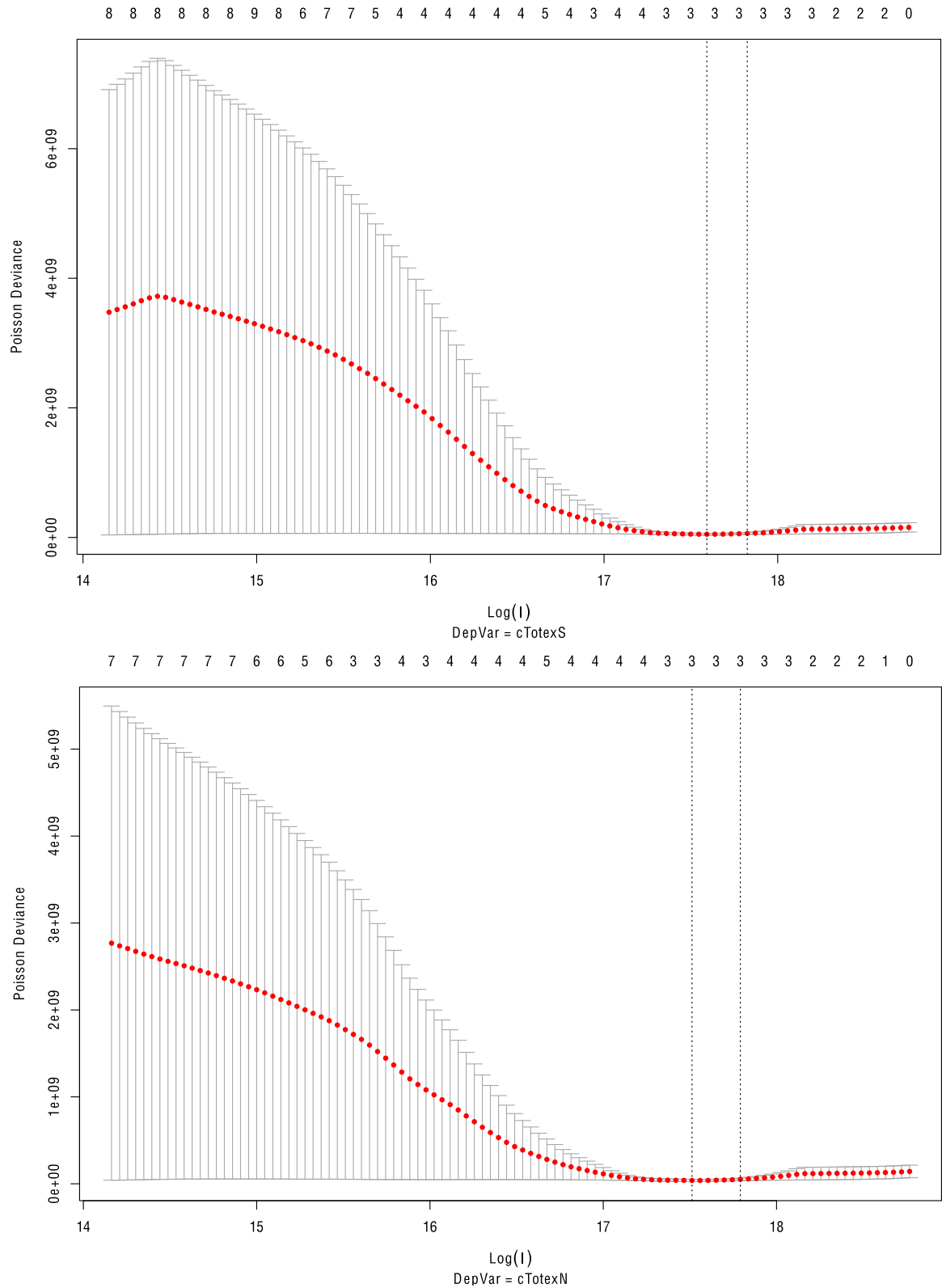
Zur deskriptiven Analyse der aus rein statistischer Sicht optimalen Modellgröße wird das Bottom-up-Verfahren verwendet, das in Anlehnung an das Vorgehen im EVS3 mit dem

LASSO-Verfahren durchgeführt wurde. Die Details hierzu finden sich in Abschnitt 5.4.3 nachfolgend.

In **Abbildung 29** illustriert der nach links fallende Verlauf, dass der Erklärungsgehalt der Bottom-up Modelle (gemessen an der mittleren quadratischen Abweichung der Residuen) bei einer normalen linearen Spezifikation zu Beginn steigt, wenn einem Modell ein weiterer Parameter hinzugefügt wird (Anzahl der Parameter im oberen Teil der Graphik angegeben). Mit einer zunehmenden Zahl von Parametern steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Modell überspezifiziert ist (höheres Lambda) und in vielfacher Hinsicht den statistischen Kriterien nicht genügt (z. B. höherer BIC-Wert, Multikollinearität mit falschen Vorzeichen). Die vertikalen Linien stellen links „Lambda_min_error“ und rechts „Lambda_1se“ dar (eine Standardabweichung weiter), wobei Modelle gewählt werden sollten, die sich zwischen diesen beiden Linien bewegen. Die in der Abbildung angegebenen Konfidenzintervalle geben eine Indikation über die Anpassungsgüte der Modelle.

Hieraus ergibt sich bei beiden Aufwandsparemtern jeweils eine Modellgröße von drei Parametern. Dies bedeutet, dass wie in der RP3 aus rein statistischer Sicht ein Modell mit drei Parametern angezeigt wäre.

Abbildung 29: Optimale Anzahl Parameter – LASSO-Ergebnisse



Quelle: Eigene Darstellung

Nicht eingeschlossen bei diesen rein technischen Betrachtungen ist die analytische Vollständigkeit der Modelle, was die erforderliche Modellgröße erhöhen kann. Gleichzeitig eröffnet die Aufnahme eines vierten Parameters bei einem gegebenen Modell die Möglichkeit, zusätzliche komplementäre Aspekte abzubilden.

5.3.4 Auffälligkeitsanalysen

Im Rahmen der Datenvalidierungen wurden systematisch Ausreißeranalysen auf Basis der Cooks-Distance durchgeführt (Abschnitt 4.4.2 und 4.4.3) und zudem eine Auswertung der Unit Costs gemacht (Abschnitt 4.4.4). Diese zeigen, dass zwar auffällige Werte vorliegen, sich diese aber im Rahmen früherer Effizienzvergleiche bewegen und nicht auf Datenfehler zurückzuführen sind. Insofern sind Ausreißeranalysen bei den verwendeten Methoden der Modellfindung wiederum im Auge zu behalten.

5.3.5 Zusammenfassung

Viele Parameter weisen eine sehr gute Korrelation mit den Aufwandsparametern auf. Viele dieser Parameter sind untereinander stark korreliert. Werden solche Parameter im gleichen Modell verwendet, sind die resultierenden Koeffizienten i. d. R. nicht mehr direkt interpretierbar bzw. bedingen eine Analyse der Multikollinearität.

Hinsichtlich optimaler Modellgröße deuten die Analysen darauf hin, dass ein Modell mit drei Parametern die Heterogenität der Netzbetreiber im Datensatz bereits sehr gut abbilden kann. Gleichzeitig kann davon ausgegangen werden, dass sich der Informationsgehalt bei Modellen mit vier komplementären Parametern gegenüber Modellen mit drei Parametern noch erhöht.

5.4 Modellspezifikation: Herleitung von Grundmodellen

Die Phase der Modellspezifikation hat zum Ziel, stimmige Kombinationen von Parametern zu identifizieren, welche als Kostenfunktion der Netzbetreiber geeignet sind und den gesetzten konzeptionellen, statistischen und regulatorischen Gütekriterien gemäß Abschnitt 5.2 möglichst weitgehend entsprechen. Bei der Modellspezifikation werden die oben in Abbildung 26 auf der linken Seite dargestellten vier Verfahren durchgeführt:

Die vier Verfahren unterscheiden sich somit von ihrer Natur her: Während beim RP3- und Top-down-Verfahren eine Pfadabhängigkeit bewusst gewählt wird (einmal ausgehend vom Modell der RP3, einmal ausgehend von der ingenieurwissenschaftlichen Priorisierung), ist das Bottom-up-Verfahren pfadunabhängig ausgestaltet und insofern komplementär. Das Technical-Blocks-Verfahren stellt eine Mischung der beiden dar: Einerseits sind die zur Verfügung stehenden Komponenten ingenieurwissenschaftlich abgeleitet, andererseits werden alle möglichen Kombinationen der Blocks ausgewertet.

Resultat der vier Verfahren sind Grundmodelle, welche im Rahmen der Ermittlung der Effizienzgrenze untersucht und ggf. weiterentwickelt werden. Die in diesem Kapitel verwen-

deten Methoden werden später bei der Modellierung mit Hilfe der DEA genutzt, um zusätzliche Kostentreiber vorzuschlagen oder Kostentreiber zu identifizieren, welche weggelassen werden können. Ebenfalls wird das finale Modell betreffend seiner Eignung als Kostenfunktion validiert.

5.4.1 Methodisches

Durchschnittskostenmodelle inkl. Auffälligkeitsanalyse

Mit dem Ziel, ein möglichst aussagekräftiges, robustes Effizienzvergleichsmodell zu finden, welches sich nicht nur aus technischer Sicht als Effizienzgrenze eignet, sondern auch eine stimmige Kostenfunktion darstellt, werden, wie einleitend dargestellt, in der „Pre-run“-Phase verschiedene Modellkandidaten anhand der oben dargestellten Verfahren hergeleitet und auf ihre Eignung als Kostenfunktion geprüft. Zum einen sollen die dabei berücksichtigten Parameter aus analytischer Sicht möglichst aussagekräftig sein (vgl. auch Kriterien in Abschnitt 5.2), zum anderen sollen die nachfolgenden statistischen Kriterien möglichst gut erfüllt sein. Methodisch kommen hierzu sogenannte „Durchschnittskostenfunktionen“⁴⁷ zum Einsatz.

- Modellgüte / Anpassungsgüte:⁴⁸
 - Bayessches Informationskriterium (BIC) minimiert für vorgegebene Modellgröße;
 - Adjustiertes Bestimmtheitsmaß (adjusted R²);
- Signifikanz der Schätzkoeffizienten der Parameter: $p < 0.05$;⁴⁹
- Natürliche Vorzeichen für eine Kostenfunktion: Positiv wenn signifikant
- Begrenzte Multikollinearität (vgl. hierzu auch Ausführungen weiter unten):⁵⁰
 - Belsley Test: condition index < 30 (idealerweise < 15);

⁴⁷ Eine Durchschnittskostenfunktion bzw. ein Durchschnittskostenmodell wird verwendet, um die erwarteten Kosten (cTotexS, cTotexN) der einzelnen Netzbetreiber möglichst gut abzuschätzen. Demgegenüber steht in DEA (und SFA) die Identifikation von Best-practice bzw. von Effizienzgrenzen im Vordergrund. Durchschnittskostenmodelle können zur Validierung von geschätzten Effizienzgrenzen dienen, dies insbesondere, wenn diese mittels DEA bestimmt werden.

⁴⁸ Die Informationskriterien geben einen Anhaltspunkt darüber, ob die Nachteile von weiteren Parametern durch die zusätzliche Information wettgemacht werden. Das Bestimmtheitsmaß gibt Auskunft darüber, in welchem Ausmaß die unabhängigen Variablen (Vergleichsparameter) die abhängige Variable (Aufwandparameter) erklären. Bei diesen beiden Kriterien werden im Gegensatz zu den übrigen Kriterien keine Grenzwerte vorgegeben. Sie dienen dazu, die Informations- und Anpassungsgüte einer Modellspezifikation im Vergleich zu alternativen Spezifikationen zu beurteilen. Die beiden Kriterien sind somit relativ zu sehen und werden minimiert bzw. maximiert, weshalb sich ein Grenzwert erübrigt.

⁴⁹ Bezüglich der Hypothese, dass ein Parameter signifikant von Null abweicht, darf demnach die Irrtumswahrscheinlichkeit nicht gleich oder höher als 5% sein.

⁵⁰ Die beiden Maße zeigen, wie stark die errechnete Varianz eines Koeffizienten durch Kollinearität erhöht ist. Liegt der Wert über den Schwellenwerten, ist dies ein Hinweis auf Multikollinearität.

- VIF (variance inflation factor) < 10 (idealerweise < 5);
- Homoskedastizität / keine Heteroskedastizität: Breusch–Pagan-Test: $p \geq 0.05$;⁵¹
- Robustheit gegenüber einzelnen Beobachtungen: Signifikanz mit Robust Ordinary Least Squares (ROLS): $p < 0.05$ (vgl. Ausführungen nachfolgend).
- Schiefe:
 - D'Agostino Test (two-sided) für Normalverteilung der Residuen: $p \geq 0.05$,
 - Richtung der Schiefe: Rechts (negativ)

Ein gutes Modell erklärt demnach die Kosten gut, weist möglichst signifikante Parameter auf und ist frei von Multikollinearität und Heteroskedastizität. Ebenso ist es robust, d. h. es wird nicht durch einzelne Netzbetreiber übermäßig beeinflusst. Dies bedeutet, dass ein einzelner FNB die Lage der Kostenfunktion als Gesamtes nicht zu stark dominieren soll. Dies wird vorerst mittels robuster Regressionen (ROLS) sichergestellt („Auffälligkeitsanalyse“ in Abgrenzung zur Ausreißeranalyse im Rahmen der Ermittlung der Effizienzgrenze, bei welcher der direkte Einfluss eines FNB auf die Effizienzwerte der übrigen FNB im Vordergrund steht). Die Auffälligkeitsanalyse wird bei den Top-down- und Bottom-up-Verfahren systematisch integriert, indem nach jeder Regression automatisch auch eine robuste Regression durchgeführt wird. Dabei ist zu beachten, dass sich bei diesen iterativen Verfahren der Status eines einzelnen FNB oder Parameters in der robusten Regression ändern kann: Durch die Berücksichtigung eines weiteren Parameters kann beispielsweise ein zuvor in der robusten Regression als auffällig eingestufte FNB wieder als unauffällig bzw. „normal“ erscheinen. Auffällige FNB werden daher nie per se ausgeschlossen, sondern bei der nächsten Iteration wiederum berücksichtigt.

Durchschnittskostenmodelle vermögen nicht zwischen Fehlerterm und Ineffizienz zu unterscheiden. Falls die Ineffizienz in einem Sektor groß ist, würde sich dies in einer asymmetrischen Verteilung der Residuen zeigen, da die Ineffizienz definitionsgemäß einseitig ist (alle Einheiten liegen innerhalb des Produktionsraumes, aber nie außerhalb). Als Folge davon könnten bei der OLS-Schätzung die Koeffizienten der Parameter verzerrt sein. Um dies zu überprüfen, wird das Residuum auf Asymmetrie und Normalität getestet. Hierfür kommen der Shapiro-Wilk-Test (Normalverteilung), der D'Agostino-Test (Schiefe) und ggf. eine graphische Überprüfung zum Einsatz.

Ausführungen zum Kriterium „Begrenzte Multikollinearität“

Betreffend Multikollinearität wird i. d. R. von den Netzbetreibern gefordert, diese nicht zu stark zu bewerten („nicht überbewerten“). Die ARegV gibt in § 13 Abs. 3 vor, dass Vergleichsparameter verwendet werden sollen, „die nicht in ihrer Wirkung ganz oder teilweise

⁵¹ Es wird getestet, ob die Varianz der Residuen größenabhängig ist (vorliegend also „kostenabhängig“). Die Nullhypothese (Homoskedastizität bzw. Varianz der Residuen nicht größenabhängig) muss verworfen werden, wenn $p < 0.05$.

wiederholend sind, insbesondere nicht bereits durch andere Parameter abgebildet werden“. Eine ganz oder teilweise wiederholende Wirkung liegt insbesondere bei hoher Korrelation der Vergleichsparameter vor, was sich u. a. in entsprechend hohen VIF-Werten äußert. Bei Multikollinearität können die Vorzeichen der einzelnen Koeffizienten nicht mehr interpretiert werden, gleichwohl bleibt die Prognosegüte des Modells insgesamt erhalten. Allerdings ist die Kostenkausalität nicht notwendigerweise gegeben. Mit Blick auf die vorliegend relevante DEA sehen wir Multikollinearität in der zugrundeliegenden Kostenfunktion dann weniger problematisch, wenn sämtliche Koeffizienten positiv sind, also ein gegenseitiges Oszillieren ausgeschlossen ist. Unabhängig davon besteht bei Multikollinearität das Risiko, nicht-monotone Kostenfunktionen zu benutzen mit ggf. erratischem Verlauf der inkrementellen Kosten je zusätzlicher Einheit. Als Fazit wird wie bei früheren Effizienzvergleichen versucht, die Multikollinearität soweit als möglich zu begrenzen. Insofern wird der Grad an Multikollinearität bewertet und möglichst begrenzt, gleichzeitig aber auch bei einem ansonsten stimmigen Effizienzgrenzenmodell nicht in jedem Fall zwingend als Ausschlusskriterium verwendet.

Bottom-up-Verfahren mit LASSO-Methode

Beim Bottom-up-Verfahren (BU) werden möglichst gut die Kosten erklärende Parameterkombinationen weitgehend losgelöst von analytischen, ingenieurwissenschaftlichen Überlegungen gesucht. Hintergrund ist das Vorsichtsprinzip in dem Sinn, dass auch bei etwaig falschen vorherigen analytischen Überlegungen Modelle und Parameter pfadunabhängig getestet werden, welche die Kosten möglichst gut erklären.

Um grundsätzlich alle möglichen Kombinationen untersuchen zu können, wurde im EVS3 von den Netzbetreibern die Anwendung von LASSO-Schätzverfahren gefordert und eingesetzt (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator). Beim LASSO-Verfahren wird versucht, aus der Menge möglicher Vergleichsparameter die beste Teilmenge zu finden, welche die maximale Anpassungsgüte gemessen am Loglikelihood aufweist⁵², wobei zur Begrenzung der Gesamtgröße des Modells ein Strafterm anhand der Summe von dessen absoluten Koeffizienten berechnet wird. Koeffizienten können dabei den Wert von Null annehmen, was deren Ausschluss aus dem Modell entspricht. Der Vorteil des LASSO-Verfahrens gegenüber dem ursprünglich geplanten Verfahren ist, dass die Suche von Modellkandidaten umfassender ist. Da beim BU-Verfahren alle Parameter in ihrer Fülle frei von analytischen Wertungen gleichberechtigt zugelassen werden sollen, wird das Verfahren auch vorliegend angewendet.⁵³ Das LASSO-Verfahren ersetzt somit die im EFG3 angewendete Methode der schrittweisen Ergänzung der besonders hoch korrelierten Vergleichsparameter je Parametergruppe.

⁵² Die Loglikelihood ist der natürliche Logarithmus der Likelihood-Funktion, welche die Wahrscheinlichkeit beschreibt, dass ein Modell die vorliegenden Daten beschreibt.

⁵³ Demgegenüber gehen einige Nachteile einher, z. B. wird möglicher Multikollinearität keine Beachtung geschenkt.

Aufgrund der genannten Eigenschaften eignet sich das LASSO-Verfahren auch für die Analysen zur optimalen Modellgröße (Resultate hierzu vgl. Abschnitt 5.3.3 oben).

Nach der Konsultation wurden seitens Netzbetreiber Bedenken geäußert, beim LASSO-Verfahren würden nur Parameter verwendet, die in beiden Regulierungsperioden (RP3 und 4) vorkommen würden. Diese Bedenken haben jedoch keine Grundlage, da die RP3-Daten lediglich in einer speziellen Anwendung als „Training Set“ für das LASSO Verfahren verwendet wurden.

Top-down-Verfahren

Im Gegensatz zum Bottom-up-Verfahren stehen beim Top-down-Verfahren analytische, ingenieurwissenschaftliche Überlegungen im Vordergrund. Ausgangspunkt hierfür ist die Einschätzung der Vergleichsparameter gemäß der KTA Ing (Abschnitt 3.5.1, Tabelle 11).

Die Modelle werden jeweils um die am geeignetsten eingestuften Parameter entwickelt (d. h. TWM2, TWM1 mit $Q_{\max}$, Rohrleitungsvolumen, Rohrleitungsmantelfläche input). Für jeden Startparameter wird danach von der Teilmenge der Parameter mit zweitbesten Eignung („komplementäre Eignung“) der beste passende Kandidat gesucht. Die resultierenden Modelle werden auf Signifikanz, Vorzeichen usw. geprüft, wobei ein zweiter Parameter nicht das Vorzeichen des Schätzkoeffizienten des primären Startparameters ändern darf. Mit Blick auf die DEA, die nur positive Vorzeichen für die Schätzkoeffizienten der verwendeten Kostentreiber zulässt, wird im Falle negativer Vorzeichen der Schätzkoeffizienten eines weiteren Parameters zudem eine restringierte Regression durchgeführt, welche für die Schätzkoeffizienten der einzelnen Parameter nur positive Vorzeichen zulassen (sog. NNLS für „Non-Negative Least Squares“). Bei Nicht-Signifikanz wird das Modell entsprechend getrimmt d. h. der hinzugefügte Parameter wird wieder entfernt. Dies bringt zwei Vorteile: Einerseits wird der erwähnten Einschränkung der DEA Rechnung getragen, andererseits kann die Multikollinearität begrenzt werden, indem ein gegenseitiges Oszillieren von Parametern verhindert wird. Wenn alle Tests bestanden sind, wird das potenzielle Modell behalten und es wird erneut getestet, ob es passende Ergänzungen gibt, wobei auch Parameter der dritten Gruppe zugelassen werden („partielle Eignung“). Die Prozedur wird fortgesetzt bis entweder die maximale Modellgröße erreicht ist oder es keine gute Ergänzung mehr gibt.

Das Verfahren resultiert je Startparameter in einer Liste von Modellen inklusive zugehöriger statistischer Tests analog dem Bottom-up-Verfahren.

Technical-Blocks-Verfahren

Beim Technical-Blocks-Verfahren (TB) werden sämtliche mögliche Modell-Kombinationen der Bausteine gemäß Abschnitt 3.5.2 gebildet (Positiv- und Negativliste) und anhand der definierten statistischen Kriterien ausgewertet, wobei folgender Filter zur Anwendung kommt:

- BIC unter einem gewissen Schwellenwert;
- Positive Vorzeichen der Parameter in OLS und ROLS;

- Keine Heteroskedastizität, keine Multikollinearität, Schiefe nicht in die falsche Richtung, Shapiro-Test bestanden.

Da unter den gegebenen analytischen Vorgaben alle möglichen Parameter-Kombinationen geprüft werden, ist das TB-Verfahren aus statistischer Sicht pfadunabhängig, steht aber nur Parametern offen, die in den gebildeten Technical Blocks vorkommen. Beim TD-Verfahren ist dies umgekehrt: Es ist zwar pfadabhängig ausgehend von der ingenieurwissenschaftlichen Klassifizierung, dafür haben grundsätzlich alle Parameter eine Chance berücksichtigt zu werden, da bei der schrittweisen Ergänzung alle Parameter eine Möglichkeit erhalten, in ein Modell aufgenommen zu werden.

5.4.2 Analyse und Resultate Modell RP3

In einem ersten Schritt wird das Modell der RP3 als Benchmark im Rahmen der Durchschnittskostenmodelle untersucht (Rohrvolumen, Fläche, Anschlusspunkte, Verdichterleistung). Ebenfalls wird das Modell der RP2 betrachtet (ohne Verdichterleistung). Um die beiden Modelle herum werden gut erklärende Modellvariationen gezeigt, die sich in folgenden Ausprägungen unterscheiden:⁵⁴

- Verwendeter Flächenparameter (statt yArea_all die beiden teilnetzcharfen Polygonflächen yArea sowie yArea_vertical);
- Verwendete Anschlusspunkte (statt alle Ein- und Ausspeisepunkte (yPoints_num) nur Ausspeisepunkte (yPoints_exit_num));
- Verwendete Verdichterparameter (statt Verdichterleistung die Treibenergie).

Tabelle 17 zeigt, dass die Modelle der vergangenen Regulierungsperioden die Kosten grundsätzlich weiterhin sehr gut erklären. Beim RP2-Modell in der Variante mit yArea liegt allerdings bei cTotexN Heteroskedastizität vor, zudem weisen die Residuen nicht die gewünschte Schiefe auf. Beim RP3-Modell mit vier Parametern ergibt sich eine deutliche Verbesserung des BIC-Wertes durch Verwendung der vertikalen Fläche, jedoch führt dies in beiden Modellen zu einer Erhöhung der Multikollinearität gemessen am VIF-Kriterium. Eine genauere Analyse der Quelle der Multikollinearität zeigt, dass der Parameter yArea_vertical, der stark mit dem Rohrvolumen korreliert ist und überdies eine mit den Ausspeisepunkten verwandte Charakteristik aufweist, beim VIF-Kriterium anschlägt.

⁵⁴ In der Konsultation wurden ausgewählte Varianten zusammen mit der Auswertung des Technical-Blocks-Verfahren gezeigt. Hier erfolgt die Auswahl nun gezielter entlang der obigen Variationen.

Tabelle 17: Modelle der RP2/3 inkl. Varianten

Modell					cTotexN OLS						cTotexS OLS					
ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	NS	Neg	HS	Mult	Schief	BIC	NS	Neg	HS	Multi	Schief
RP2	yPipe_volume		yPoints_num	yArea	586	0	0	nok	ok	nok	586	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_volume		yPoints_num	yArea_all	586	0	0	ok	ok	nok	586	0	0	ok	ok	ok
RP3	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_all	581	0	0	ok	ok	ok	582	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea	581	0	0	ok	ok	ok	582	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea	582	0	0	ok	ok	ok	583	1	0	ok	ok	ok
	yPipe_volume	yComp_energy_used	yPoints_exit_num	yArea_vertical	564	0	0	ok	nok	ok	566	0	0	ok	nok	ok
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_vertical	564	0	0	ok	nok	ok	568	0	0	ok	nok	ok
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_vertical	565	0	0	ok	nok	ok	568	0	0	ok	nok	ok

Quelle: Eigene Darstellung

Das Modell der RP3 ist somit grundsätzlich weiterhin als Kostenfunktion geeignet und wird daher für die Weiterentwicklung des Effizienzvergleichsmodells in Abschnitt 5.5 im **Stream „Rohrvolumen“** weiterverfolgt. Dabei werden insbesondere auch Varianten mit der teilnetzschaffen Fläche und/oder Ausspeisepunkten auf ihre Eigenschaften als Effizienzgrenze geprüft. Sofern gute Modelle mit vertikaler Fläche resultieren, werden diese ebenfalls geprüft.

5.4.3 Resultate Bottom-up-Verfahren

Das Verfahren wird jeweils für beide Aufwandsparameter durchgeführt. Das Verfahren führt aus statistischer und konzeptioneller Sicht zu keinen stichhaltigen Modellen. Beispielfähig ist in **Tabelle 18** ein Modell mit Mantelfläche dargestellt, welches neben der Mantelfläche gleichzeitig zwei Höchstlast-Parameter beinhaltet und somit erwartungsgemäß nicht frei von Multikollinearität ist.

Tabelle 18: Resultate Bottom-up-Verfahren

Modell					cTotexN OLS						cTotexS OLS					
ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	NS	Neg	HS	Mult	Schief	BIC	NS	Neg	HS	Multi	Schief
	yPipe_surface_i	yPeakl_deliv_Qsim	yPeakl_inj_Qmax	yPoints_exit	585	2	0	ok	nok	nok	587	2	0	ok	nok	nok

Quelle: Eigene Darstellung

Gestützt auf das Bottom-up-Verfahren wird bei der Entwicklung des Effizienzvergleichsmodells in Abschnitt 5.5 daher kein Modell weiterverfolgt.

5.4.4 Resultate Top-down-Verfahren

Das Verfahren wird ausgehend von den Top-Parametern gemäß Tabelle 11 (TWM1/2 mit Qmax, Rohrvolumen, Rohrmantelfläche input) durchgeführt.

Dabei resultieren tendenziell kleinere, kompakte Modelle, welche die Versorgungsaufgabe unvollständig abbilden und daher nicht als Grundmodelle verwendet werden.

Da das TD-Verfahren pfadabhängig ausgestaltet ist, wird ergänzend und neu im Vergleich zur Konsultation die nachfolgend in Abschnitt 5.5.1.7 vorgestellte Permutation hinsichtlich der rein statistischen Kriterien ausgewertet. **Tabelle 19** nachfolgend zeigt die hieraus resultierenden besten Modelle, die nicht bereits im RP3-Verfahren bzw. weiter unten im Technical-Blocks-Verfahren dargestellt sind, die den statistischen Kriterien vollumfänglich genügen und den ingenieurwissenschaftlichen Priorisierung aus Abschnitt 3.5.1 entsprechen.

Tabelle 19: Resultate Top-down-Verfahren

Modell					cTotexN OLS						cTotexS OLS					
ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	NS	Neg	HS	Mult	Schief	BIC	NS	Neg	HS	Multi	Schief
	yPipe_volume	yPeakl_deliv_Qmax	yPoints_num	yArea_all	578	0	0	ok	ok	ok	583	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yPeakl_deliv_Qsim	yComp_num	yBranches_num	580	0	0	ok	ok	ok	582	0	0	ok	ok	ok
	yTWM2_Qmax	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	zSoil_AK4567	582	0	0	ok	ok	ok	582	0	0	ok	ok	ok
	yTWM1_Qmax	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	zSoil_AK4567	584	0	0	ok	ok	ok	584	0	0	ok	ok	ok

Quelle: Eigene Darstellung

Die beiden Modelle mit Volumen/Mantelfläche und Höchstlast werden aus konzeptioneller Sicht nicht weiterverfolgt, da dies zu einer (mindestens teilweise) Redundanz der Rohrleitungskapazitäten führt.

Die beiden TWM-Modelle mit den Aufwandsklassen 4 bis 7 werden nachfolgend im **Stream „TWM“** mitgeführt, anders als noch in der Konsultation vorgestellt.

5.4.5 Resultate Technical-Blocks-Verfahren

Tabelle 20 zeigt die Resultate aus dem Technical-Blocks-Verfahren für Modelle mit durchschnittlichem BIC-Wert von höchstens 590. Aus allen möglichen Kombinationen wurden Modelle gefiltert, welche den statistischen Kriterien entsprechen (positive Koeffizienten bei OLS und ROLS, keine Heteroskedastizität, keine Multikollinearität, Shapiro-Test erfüllt, keine falsche Schiefe). Das Vorgehen ist hier somit strenger als noch in der Konsultation, dafür werden die statistischen Kriterien bei der Auswertung der Streams in Kapitel 5 etwas gelockert. Die Modelle sind sortiert nach den Kapazitäts-Parametern, welche das Rohrleitungsgestüt abbilden. Grau hinterlegt sind Modelle, die oben beim RP3-Stream schon abgebildet werden.

Im Vergleich zur Konsultation wurden Modelle ausgeschlossen, welche von Multikollinearität oder unerwarteter Schiefe geprägt sind. Darunterfallen alle TWM-Modelle sowie auch fast alle Modelle mit vertikalen Parametern.

Folgende Beobachtungen lassen sich anstellen:

- Die aufgelisteten Modelle mit **Rohrvolumen** gehen durchgängig mit Polygonfläche einher. In zwei Fällen ist die Verdichterleistung durch die Jahresarbeit ersetzt. Ein Modell, wenngleich mit etwas weniger gutem BIC, disaggregiert die Punkte (separate Ein- und Ausspeisepunkte);
- Modell mit der **inputorientierten Rohrmantelfläche** folgen dem Muster der Rohrmantelfläche mit der Ausnahme von zwei Modellen, bei denen die Fläche durch Jahresarbeit ersetzt ist;
- Die Modelle mit der **outputorientierten Rohrmantelfläche**, die bei Bruchteilseigentum tendenziell höhere Parameterwerte zugesteht, kommen durchwegs ohne Flächenparameter aus, welche meist von Arbeits-Parametern ersetzt wird (Ausnahme Nenndurchfluss der Druckregler);
- Es liegen keine Modelle mit **Höchstlast und/oder Leitungslänge** vor, die den Kriterien genügen;

- Bei den **TM/TWM**-Kapazitätsblocks liegen lediglich zwei Modelle vor, die den gesetzten statistischen Kriterien genügen. Beide beinhalten das im Vergleich zum TWM1/2 unvollständigere Transportmoment. Allerdings sind hier bei cTotexS bereits zwei Parameter nicht signifikant. Modelle mit TWM tendieren dazu, überspezifiziert zu sein, was sich i. d. R. in erhöhter Multikollinearität und nicht erwarteter Schiefe äußert. Als Grund hierfür liegt die Vermutung nahe, dass das TWM die Versorgungsaufgabe bereits recht umfassend abbildet. Dies bedeutet, dass beim TWM auch Modelle im Blickpunkt sind, welche nur aus drei Parametern bestehen.
- Bezüglich der **Anschlüsse** (inkl. Einspeisepunkte oder nicht) ergibt sich keine eindeutige Präferenz.
- Ähnlich wie bei den Anschlüssen führen bei der **Polygonfläche** die teilnetzstarke Version (yArea) und diejenige über alle Assets (yArea_all) zu sehr ähnlichen Ergebnissen, demgegenüber erscheint die vertikale Fläche nur zusammen mit dem Transportmoment.
- Der Vergleich von **Anschlüssen und Verzweigungen** zeigt, dass die Anschlüsse i. d. R. weiter oben rangiert sind und die Verzweigungen erst zum Schluss folgen, d. h. mit Verzweigungen ist die Anpassungsgüte etwas weniger gut und aus statistischer Sicht sind Modelle mit Punkten etwas besser, was sich mit der ingenieurwissenschaftlichen Beurteilung deckt.

Die Modelle werden in den zugehörigen **Streams Rohrvolumen, Rohrmantelfläche und TM/TWM** wiederaufgenommen.

Tabelle 20: Resultate Technical-Blocks-Verfahren

Modell					cTotexN OLS						cTotexS OLS					
ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	NS	Neg	HS	Mult	Schief	BIC	NS	Neg	HS	Multi	Schief
Rohrvolumen																
RP3	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_all	581	0	0	ok	ok	ok	582	0	0	ok	ok	ok
oben	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea	581	0	0	ok	ok	ok	582	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_all	582	0	0	ok	ok	ok	583	1	0	ok	ok	ok
oben	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea	582	0	0	ok	ok	ok	583	1	0	ok	ok	ok
	yPipe_volume	yEnergy_delivered	yPoints_num	yArea	582	0	0	ok	ok	ok	584	1	0	ok	ok	ok
	yPipe_volume	yEnergy_delivered	yPoints_num	yArea_all	582	0	0	ok	ok	ok	584	1	0	ok	ok	ok
	yPipe_volume	yPoints_entry_num	yPoints_exit_num	yArea_all	589	1	0	ok	ok	ok	588	1	0	ok	ok	ok
Rohrmantelfläche input																
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea	576	0	0	ok	ok	ok	573	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea	576	0	0	ok	ok	ok	573	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_all	576	0	0	ok	ok	ok	573	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_all	576	0	0	ok	ok	ok	574	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_num	yEnergy_injected	577	0	0	ok	ok	ok	573	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yEnergy_injected	578	0	0	ok	ok	ok	574	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yBranches_num	yArea	578	0	0	ok	ok	ok	579	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yEnergy_delivered	yBranches_num	yArea	581	0	0	ok	ok	ok	585	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface_i	yEnergy_delivered	yBranches_num	yArea_all	581	0	0	ok	ok	ok	585	0	0	ok	ok	ok
Rohrmantelfläche output																
	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_num	yEnergy_injected	582	0	0	ok	ok	ok	582	0	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_num	yController_flow	583	0	0	ok	ok	ok	584	1	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yTM_Qjahr_RD	586	1	0	ok	ok	ok	585	1	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yTM_Qjahr_LD	588	1	0	ok	ok	ok	587	1	0	ok	ok	ok
	yPipe_surface	yComp_power_sum	yBranches_num	yTM_Qjahr_RD	588	1	0	ok	ok	ok	589	1	0	ok	ok	ok
TM/TWM																
	yTM_Qmax_RD	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_vertical	587	1	0	ok	ok	ok	592	2	0	ok	ok	ok
	yTM_Qmax_RD	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_vertical	586	1	0	ok	ok	ok	592	2	0	ok	ok	ok

Quelle: Eigene Darstellung

5.5 Ermittlung der Effizienzgrenze

Die Arbeiten zur Ermittlung und Validierung der Effizienzgrenze resultieren im finalen Modell für den Effizienzvergleich. Im Resultat soll ein Modell gefunden werden, welches den in Abschnitt 5.2 angegebenen konzeptionellen, statistischen und regulatorischen Kriterien möglichst weitgehend entspricht. Folgende Schritte werden durchgeführt:

- Anwendung von DEA inkl. Ausreißer- und Second-Stage-Analysen für die Grundmodelle sowie Weiterentwicklungen hiervon (SFA nicht anwendbar, vgl. nachfolgende Ausführungen in Abschnitt 5.5.1.1);
- Zur Beurteilung von möglichen Weiterentwicklungen der Grundmodelle und Sichtung möglicherweise bis hierhin noch nicht identifizierter Modelle, strukturierte Auswertung der Permutationen von Modellen mit 3 bzw. 4 Parametern (vgl. nachfolgend Abschnitt 5.5.1.7);
- Gegenüberstellung der besten Modelle;
- Detailspezifikation des gewählten Modells inkl. Darstellung detaillierter Resultate, Peer- und Ausreißeranalysen sowie Validierung als Kostenfunktion.

5.5.1 Methodisches

5.5.1.1 Anwendbarkeit SFA und DEA

Gemäß Anlage 3 zu § 12 ARegV sollen die beiden Methoden SFA und DEA angewendet werden (Details vgl. Abschnitt 2.2). Für die SFA sieht § 22 ARegV explizit vor, dass diese nur dann anzuwenden ist, falls ausreichend Daten vorhanden sind.

Die **SFA** ist im vorliegenden Datensatz mit 16 Vergleichsunternehmen nicht verlässlich anwendbar. Das zugrundeliegende Problem ist, dass die Anzahl Beobachtungen zu klein ist, um einerseits die Parameter in linearen, log-linearen oder ggf. gar translog Kostenfunktionen verlässlich zu schätzen, und andererseits auch den relativen Einfluss von Störterm und Ineffizienzen hinreichend zu differenzieren.

Gemäß Anlage 3 zu § 12 ARegV wird die **DEA** mit konstanten Skalenerträgen geschätzt (CRS). Eine DEA mit 16 Unternehmen weist gegenüber der SFA keine Konvergenz-Probleme auf. Die lineare Optimierung konvergiert in einer endlichen Anzahl von Schritten. Es existieren auch hier Faustregeln über die notwendige Datenmenge in einem DEA Modell, z. B. dass die Anzahl der Beobachtungen (abzüglich Ausreißern) mindestens drei Mal der Anzahl der Inputfaktoren plus Outputfaktoren entsprechen sollte (vgl. Abschnitt 5.5.1.4 nachfolgend). Diese Faustregeln dienen dazu sicherzustellen, dass das DEA-Modell ausreichend zwischen effizienten und nicht effizienten Netzbetreibern unterscheiden kann.

5.5.1.2 Spezifikation der nicht-parametrischen Methode (DEA)

Die DEA wird inputorientiert mit konstanten Skalenerträgen (CRS) gemäß Anlage 3 zu § 12 ARegV durchgeführt.

5.5.1.3 Identifikation von Ausreißern in der DEA

Gestützt auf die Vorgaben der ARegV (vgl. Abschnitt 2.1) sind Ausreißer bei der DEA zweistufig mittels Dominanz- und Supereffizienzanalyse zu identifizieren.

Umsetzung Dominanzkriterium

Die Dominanz im Sinne einer Abschätzung des Einflusses von NB i auf die durchschnittliche Effizienz E wird analog zum EVS4 anhand nachfolgender Formel berechnet:

$$T = \frac{\sum_{k \in I \setminus i} (1/E(k; I) - 1)}{\sum_{k \in I \setminus i} (1/E(k; I \setminus i) - 1)}$$

Der Datensatz I besteht aus n NB, und i ist ein potentieller Ausreißer. $E(k; I)$ ist die Effizienz von NB k , wenn im Vergleich alle NB verwendet werden und $E(k; I \setminus i)$ ist die Effizienz von k , wenn der NB i nicht berücksichtigt wird. Hohe Werte für T aus dieser Formel (evaluiert mit einer $F(2(n-1), 2(n-1))$ Verteilung, vgl. Banker (1993 und 1996) oder Bogetoft und Otto (2011) indizieren, dass NB i ein Ausreißer ist. Der Zähler ist dann deutlich größer als der Nenner und die mittlere Effizienz ohne i , aber mit i als Peer ist ausreichend tiefer als die mittlere Effizienz ohne i .

Die Formel unterscheidet sich von derjenigen vom EFG3, da sich in Deutschland bei der Umsetzung der ARegV im Kontext der SFA bei VNB-Effizienzvergleichen auf Betreiben der Netzbetreiber die Annahme einer exponentiellen Verteilung der Ineffizienz durchgesetzt hat. Da es kein Grund zur Annahme gibt, dass die Ineffizienz bei Fernleitungsnetzbetreibern anders verteilt sein sollte, wurde aus Gründen der Kohärenz, den Arbeiten von Banker und dem EVG3/EVS3 die obige Formel leicht angepasst von ursprünglich $(E-1)^2$ zu $(1/E)-1$. So liegt dem Test statt der Annahme einer halbnormalen Verteilung ebenfalls eine exponentielle Verteilung zugrunde, die bei Anwendung einer SFA auch vorliegend unterstellt würde. Hieraus ergibt sich eine Anpassung der Freiheitsgrade (daher $F(2(n-1), 2(n-1))$ statt $F(n-1, n-1)$).

Im Nachgang zum EFG3 und ebenfalls im Rahmen des EVS3 wurden mögliche alternative Ausgestaltungen des Dominanztests intensiv diskutiert, wobei wir auch vorliegend an folgender Sichtweise festhalten:⁵⁵

- Für den teils vorgeschlagenen Wilcoxon signed-rank-Test, muss, damit er aussagekräftig ist, ein arbiträrer Schwellenwert definiert werden, ab welchem Einfluss ein einzelnes Unternehmen als Peer gilt. Wird kein solcher Schwellenwert definiert, identifiziert der Test ein Unternehmen bereits als Ausreißer, wenn dieses nur für eine kleine Anzahl von Unternehmen Peer ist. Somit würde beinahe jedes Unternehmen, das auf der Effizienzgrenze liegt, zum Ausreißer, was nicht das Ziel der Dominanzanalyse sein kann. Nachteilig bei dieser Methode ist die Vorgabe eines Schwellenwertes, der je nachdem, wie er

⁵⁵ Die Details insbesondere zu Bootstrapping sind in Swiss Economics (2019) festgehalten.

angesetzt wird, das Ergebnis entsprechend beeinflusst. Demnach ist der oben beschriebene Banker-Test vorzuziehen;

- Bootstrapping wurde ebenfalls vorgeschlagen. Wir sehen u. a. deshalb davon ab, da für den zulässigen Einfluss eines Netzbetreibers implizit ein Schwellenwert von Null unterstellt wird, welcher einerseits unrealistisch viele Unternehmen als dominant identifiziert und es andererseits nur darauf hinausläuft, dass auf rechenintensive Art ein einfacher kausaler Zusammenhang aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung⁵⁶ angenähert wird. Die Festlegung eines Schwellenwertes ungleich Null wäre wiederum arbiträr analog zum Wilcoxon signed-rank-Test (s. o.), daher willkürlich und ohne Grundlage in der ARegV;
- Verschiedene Varianten des F-Tests mit unterschiedlichen zugrundeliegenden Annahmen der Verteilung der Output-Effizienz $1/E$ ⁵⁷ sowie der Kolmogorov-Smirnov-Test wurden ebenfalls getestet. Aus theoretischer Sicht lässt sich keine dieser Alternativen klar vorziehen, sie führen aber regelmäßig zum gleichen Ergebnis wie der bislang verwendete Test hinsichtlich der identifizierten Ausreißer.

Aus diesem Grund wurde am Banker-Test festgehalten, dieser aber wie oben dargestellt auf die regulatorische Annahme hinter der Spezifikation der SFA angepasst, die so auch verwendet würde, wenn die SFA für FNB anwendbar wäre.

Umsetzung Supereffizienzkriterium

Zur Berechnung der Supereffizienz gilt NB i als supereffizient, falls:

$$E(i; I \setminus i) > q(0.75) + 1.5[q(0.75) - q(0.25)]$$

$E(i; I \setminus i)$ ist die Effizienz von NB i , wenn NB i nicht in der DEA berücksichtigt wird und das Resultat dieser DEA auf i angewendet wird. Dieser Wert wird für alle NB berechnet und hierfür die Quartilswerte $q(0.25)$ und $q(0.75)$ bestimmt. NB i gilt als Ausreißer, falls $E(i; I \setminus i)$ größer ist als die Summe des oberen Quartilswert $q(0.75)$ und dem 1.5-fachen Quartilsabstand, welcher durch die 50% der NB, die in der Mitte der Effizienzwertverteilung liegen, aufgespannt wird ($q(0.75) - q(0.25)$).

Die Kriterien werden wie in den vergangenen Effizienzvergleichen (FNB, VNB Gas und Strom) angewendet und stützen sich direkt auf die ARegV.

Sequentielle Umsetzung

Das Vorgehen mit den angewendeten Kriterien ist in **Abbildung 30** dargestellt. Demnach erfolgt in Anlehnung an die ARegV zuerst die Dominanzanalyse. Hierfür wird eine erste DEA berechnet und der oben beschriebene Dominanztest durchgeführt. Eventuell so identifizierten „dominanten“ Ausreißern wird ein Effizienzwert von 100% zugewiesen. Danach

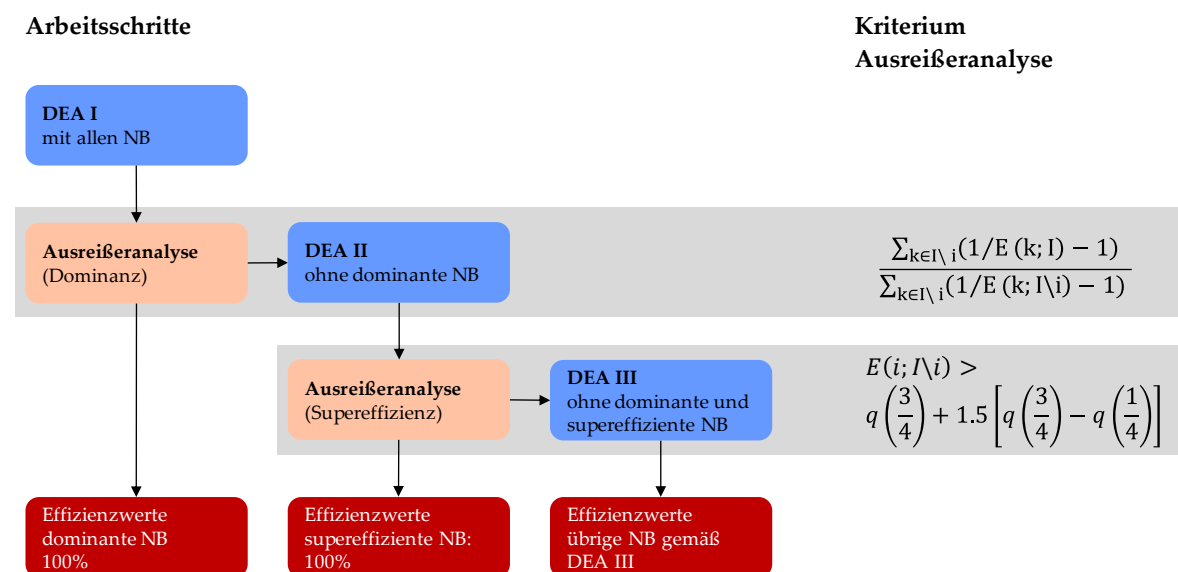
⁵⁶ Wahrscheinlichkeit, dass beim Bootstrapping-Verfahren ausschließlich Unternehmen gezogen werden, für die ein Netzbetreiber nicht als Peer dient.

⁵⁷ Neben der gewählten exponentiellen Verteilung auch halbnormal, log halbnormal und log exponentiell.

erfolgt eine weitere DEA-Iteration ohne Berücksichtigung der dominanten NB, welche als Grundlage zur Berechnung der Supereffizienz angewendet wird. NB, welche als „super-effiziente“ Ausreißer identifiziert werden, erhalten wiederum einen Wert von 100%. Für die noch verbleibenden NB (also alle nicht-Ausreißer) wird eine dritte DEA berechnet und die Effizienzwerte entsprechend zugewiesen. Dieses ARegV-basierte Vorgehen entspricht der Best Practice (vgl. z. B. Agrell und Niknazar, 2014).

Eine im Rahmen der Stellungnahmen zur Konsultation vorgebrachte iterative, sprich mehrfache Anwendung des Supereffizienzkriteriums, wird vorliegend erneut verworfen (und würde, wenn ein zusätzlicher Ausreißer resultieren würde, absehbar zur direkten Verwerfung aller Modelle der Short List führen, da die maximal zulässige Zahl an Ausreißern fast ausnahmslos bereits erreicht ist). Das Anliegen wurde nicht berücksichtigt, da eine mehrfache Anwendung des Supereffizienztests weder dem Wortlaut der ARegV⁵⁸ noch der Auslegung des Kriteriums entspricht (einmalige Anwendung eines fixen Cut-offs, vgl. Banker and Chang, 2006). Ebenfalls sprechen weder die Analyse der Verteilung der Supereffizienzwerte (Abbildung 34) noch die Peer-Analyse (vgl. Abschnitt 5.5.6.2) für eine Anpassung des bisherigen Vorgehens – im Gegenteil stützen sie das gewählte Vorgehen.

Abbildung 30: DEA Ausreißeranalyse



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an EVS2

5.5.1.4 Anzahl zulässiger Ausreißer in der DEA

Aufgrund der eher geringen Anzahl von 16 Vergleichsunternehmen im vorliegenden Datensatz, spielt die Anzahl der Ausreißer eine besondere Rolle. Aufgrund der iterativen Eliminierung von dominanten und supereffizienten Unternehmen (gemäß Abbildung 30) besteht ein inhärenter Zusammenhang mit der Anzahl der Parameter: Wenn beispielsweise drei Ausreißer vorliegen, wird die letzte DEA (DEA III) nunmehr mit 13 statt ursprünglich

⁵⁸ Gemäss Ziffer 5. Abs. 2, S. 6 zur ARegV ist der Supereffizienztest lediglich ergänzend durchzuführen.

16 Unternehmen durchgeführt. Die Anzahl der zulässigen Parameter ergibt sich damit modellspezifisch je nach Ausreißersituation, wobei jeweils die DEA III maßgebend ist.

Faustregeln zur maximalen Anzahl von Ausreißern

Als (generöse) Standardregel wird folgende etablierte⁵⁹, aus der DEA-Optimierung abgeleitete⁶⁰ Faustregel angewendet (Banker et al., 1989):

$$3 \cdot (1 + \# \text{Output-Parameter}) \leq \# \text{Beobachtungen}$$

Im vorliegenden Fall wird die Regel für die DEAIII zu:

$$3 \cdot (1 + \# \text{Output-Parameter}) \leq \# \text{Beobachtungen} - \# \text{AusreißerDEAI} - \# \text{AusreißerDEAII}$$

Dies führt bei 16 Netzbetreibern für eine gegebene Modellgröße zu folgender maximal zulässigen Anzahl von Ausreißern:

- Modelle mit drei Parametern: Maximal vier Ausreißer;
- Modelle mit vier Parametern: Ein Ausreißer.

Eine andere Faustregel bezieht sich auf das Verhältnis von Ausreißern zum zugrundeliegenden Datensatz ohne Berücksichtigung der Anzahl Parameter, vgl. Agrell & Niknazar (2014):

$$\text{„Ok“ wenn } \# \text{Ausreißer} / \# \text{Beobachtungen} \leq 6.5\%$$

$$\text{„May pass“ wenn } \# \text{Ausreißer} / \# \text{Beobachtungen} \leq 15\%$$

Gemäß dieser Regeln würden Modelle mit drei oder vier Parametern als unproblematisch gesehen werden, wenn höchstens ein Ausreißer vorliegt. Zwei Ausreißer könnten ggf. akzeptiert werden, drei Ausreißer wären abzulehnen.

Zusammenfassend sollten Modelle mit vier Parametern gestützt auf diese Faustregeln möglichst nur einen Ausreißer aufweisen, zwei Ausreißer sind bereits kritisch. Wesentlich ist, dass die Faustregeln primär dazu dienen, eine ausreichende Diskriminierungskraft zwischen effizienten und nicht effizienten Netzbetreibern zu ermöglichen. Soll hierbei jedoch

⁵⁹ Raab und Lichty (2002), Seite 589: «It has been accepted as a DEA convention that the minimum number of DMUs be greater than three times the number of inputs plus outputs.»

⁶⁰ Die Faustregel lässt sich auf die Freiheitsgrade bei der numerischen Lösung der DEA (lineare Programmierung) zurückführen. Die Anzahl der Schattenpreisvariablen sollte demnach mindestens so gross sein wie die Anzahl der Restriktionen. Banker et al. (1989) folgert daraus, dass die Anzahl der DMUs, für die Beobachtungen vorliegen, größer sein sollte als die Anzahl der Restriktionen. Für DEA-Effizienzbewertungen sei es demnach im Allgemeinen ratsam, dass $n \geq 3(m + s)$ gilt, wobei n der Anzahl DMUs, m der Anzahl Inputs und s der Anzahl Outputs entspricht. In Banker et al. (1989) finden sich die Ausführungen hierzu auf Seite 138.

vor allem das Vorsichtsprinzip im Sinne der Netzbetreiber angewendet werden, ergibt sich ein gewisser Spielraum.

Vor dem Hintergrund werden nachfolgend wie in der RP3 bei Modellen mit vier Parametern zwei Ausreißer gerade noch toleriert. Bei Modellen mit drei Parametern liegt die Grenze bei höchstens vier Ausreißern.

Wie viele Ausreißer in zwei Modellen?

Da vorliegend Modelle sowohl für cTotexS wie auch cTotexN gerechnet werden, stellt sich die Frage, wie verschiedene Ausreißerkonstellationen gewertet werden sollen. Die Anzahl Ausreißer über cTotexN und cTotexS hinweg können auf verschiedene Arten bestimmt werden:

- Max (#Ausreißer in cTotexN, #Ausreißer in cTotexS);
- Anzahl Unternehmen, die in den bestabgerechneten Resultaten als Ausreißer gelten: Eine Konstellation (cTotexS 1, cTotexN 2) ist dann besser, wenn insgesamt nur zwei statt drei Unternehmen als Ausreißer identifiziert werden, was der Fall ist, wenn der Ausreißer bei cTotexS gleichzeitig auch Ausreißer bei cTotexN ist (und somit mit Bezug auf die Ausreißer eine größere Kohärenz zwischen den beiden Schätzungen besteht);
- #Ausreißer in cTotexN + #Ausreißer in cTotexS;
- Durchschnitt: (#Ausreißer in cTotexN + #Ausreißer in cTotexS) / 2;
- Nur Ausreißer in cTotexS, da der Parameter cTotexS unterschiedliche Altersstrukturen besser abbildet;
- „Best-of-impact“: Kombinierte Bewertung aufgrund des Einflusses der Ausreißer auf die bestabgerechneten Effizienzwerte. Eine (cTotexS 2, cTotexN 0) und (cTotexS 1, cTotexN 1) Konstellation ist gleichermaßen gut oder schlecht, wenn die beiden Kostenbasen dieselbe Rolle spielen für die Bestimmung der bestabgerechneten Effizienzwerte. (cTotexS 2, cTotexN 0) ist hingegen schlechter als (cTotexS 1, cTotexN 1), wenn die erste Kostenbasis (cTotexS) maßgeblich die bestabgerechneten Effizienzwerte bestimmt.

Aus rein statistischer Sicht mit Blick auf das Verhältnis der Anzahl Parameter zur Anzahl Datenpunkte (d. h. Vergleichsunternehmen) ist die erste Variante relevant, da der Blickpunkt auf diejenige(n) Schätzung(en) fällt, die am meisten Ausreißer aufweist. Auf dieses Kriterium wird zunächst bei der Weiterentwicklung der Modelle abgestellt (Abschnitt 5.5.2). Bei der qualitativen Beurteilung der Modelle bei der Modellwahl (Abschnitt 5.5.3) werden zudem das zweite („bestabgerechnete Ausreißer“) und das letzte Kriterium (best-of-impact) mit berücksichtigt.

Dominanz vs. Supereffizienz

Es wird nicht unterschieden zwischen den verschiedenen Typen von Ausreißern (Dominanz vs. Supereffizienz), da für die technische Beurteilung der Anzahl der Ausreißer dominante und supereffiziente Ausreißer gleichermaßen wichtig sind. Ein Fall von ausgeprägter Dominanz kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass ein Datenproblem besteht, da das

Alleinstellungsmerkmal eines Netzbetreibers für das Anspringen des Dominanzkriteriums ungleich stärker ausgeprägt sein muss und es entsprechend weniger wahrscheinlich ist, dass dies in einer herausragenden Effizienz des Netzbetreibers begründet ist. Vorliegend kann dies aufgrund der Datenprüfung ausgeschlossen werden, d.h. dominanten Ausreißer werden gegenüber supereffizienten Ausreißern gleichbehandelt.

5.5.1.5 Bestabgerechnete Effizienzwerte

Liegen die mittels CRS-DEA berechneten Effizienzwerte (E-DEA) für cTotexN und cTotexS vor, sind die individuellen Effizienzwerte je FNB nach dem Best-of Verfahren gemäß § 12 Abs. 3 und 4a ARegV festzulegen. Somit ist für jeden FNB der jeweils höchste Wert heranzuziehen, wobei ein Effizienzwert von 60% gemäß § 12 Abs. 4 ARegV in jedem Fall die Untergrenze bildet. Da, wie in Abschnitt 5.5.1.1 ausgeführt, vorliegend keine SFA durchgeführt werden kann, ergeben sich die bestabgerechneten Effizienzwerte nach der folgenden Formel:

$$\max(\text{E-DEA}(\text{Totex}), \text{E-DEA}(\text{cTotexS}), 60\%),$$

5.5.1.6 Second-Stage-Analysen

Eine gängige Methode um zu ermitteln, ob einem untersuchten Modell relevante Kostentreiber fehlen („omitted variables“), ist, die geschätzten Effizienzwerte mit den nicht berücksichtigten Variablen zu vergleichen, also eine sogenannte Second-Stage-Analyse durchzuführen. Falls ein signifikanter Zusammenhang zwischen den ermittelten Effizienzen und einem nicht berücksichtigten potenziellen Kostentreiber besteht, das Vorzeichen des Koeffizienten bei der Schätzung in die erwartete Richtung geht und zudem der Parameter einen relevanten Einfluss hat („impact“), sollte in Betracht gezogen werden, das Modell zu erweitern, um die bislang nicht berücksichtigte Variable zu integrieren. Solche Beurteilungen werden üblicherweise mithilfe einer Tobit-Regression für stetige Variablen und dem nicht-parametrischen Test von Kruskal-Wallis für ordinale Variablen durchgeführt (vgl. auch EVS2/EVS3). Vorliegend sind solche Tests in ihrer Aussagekraft wegen der geringen Anzahl an Variablen eingeschränkt. Dem Vorsichtsprinzip folgend werden entsprechende Analysen gleichwohl durchgeführt.

5.5.1.7 Permutation

Analog zur RP3 wird zusätzlich eine Permutation für Modelle mit drei bzw. vier Parametern durchgeführt, bei der für jedes mögliche Modell die Effizienzgrenze bestimmt sowie die statischen Eigenschaften als Kostenfunktion festgehalten wird. Ziel ist einerseits die Analyse von kleineren Modellabweichungen rund um die in Abschnitt 5.4 hergeleiteten Grundmodelle und andererseits die etwaige Identifikation von guten Modellen, die im Rahmen der übrigen durchgeführten Verfahren, insbesondere des Top-down-Verfahrens, möglicherweise noch nicht diskutiert worden sind.

Die Permutation führt mit drei Parametern zu 13'244 Modellen, bei vier Parametern sind es bereits 135'751 Modelle. Wie diese Fülle von Modellen ausgewertet wird, wird nachfolgend als Teil von Abschnitt 5.5.2 dokumentiert.

5.5.2 Weiterentwicklung Grundmodelle

Die in Abschnitt 5.4 hergeleiteten Grundmodelle werden nun – in Anlehnung an die primären Parameter aus der KTA Ing – in folgenden **Streams** auf ihre Eignung als Modell für den Effizienzvergleich im Rahmen der DEA statistisch untersucht und gezielt mit Blick auf die konzeptionellen und regulatorischen Kriterien gemäß Abschnitt 5.2 weiterentwickelt.

- **Stream 1 «Rohrvolumen»:** Modelle ausgehend vom Rohrvolumen;
- **Stream 2 «Rohrmantelfläche»:** Modelle ausgehend von der input- oder outputorientierten Rohrmantelfläche;
- **Stream 3 «TM/TWM»:** Modelle mit TM/TWM gebildet mit Qmax;
- **Stream 4 «Übrige»:** Modelle, in denen die Leitparameter der ersten drei Streams nicht vorkommen.

Vorgehen: Strukturierte Auswertung Permutation

Zur strukturierten Auswertung wird die oben beschriebene Permutation verwendet. Um aus der Fülle von Modellen geeignete Kandidaten herauszufiltern, kommt folgender Ansatz zur Anwendung:

- **Schritt 1 quantitativ:** Ausschluss von Modellen anhand folgender Filterkriterien:
 - DEA 4 Parameter: Nicht mehr als 2 Ausreißer je Kostenart (Dominanz und Supereffizienz zusammengefasst), Durchschnittseffizienz > 95% (bzw. 90% beim TWM-Stream, bei dem die Effizienzwerte generell tiefer ausfallen)
 - DEA 3 Parameter: Nicht mehr als 4 Ausreißer je Kostenart (Dominanz + Supereffizienz zusammengefasst), Durchschnittseffizienz > 90%
 - Kostenfunktion:
 - OLS: Alle Koeffizienten positiv und signifikant, keine Heteroskedastizität, normalverteilte Stichprobe (Shapiro-Test)
 - ROLS: Alle Koeffizienten positiv
- **Schritt 2 qualitativ:** Positivselektion der verbleibenden Modelle aus konzeptioneller und regulatorischer Sicht:
 - Keine Doppelwirkungen
 - Berücksichtigung der Negativ-Liste
 - Mindestens Abbildung der Versorgungsdimensionen «Kapazität» und «Dienstleistung»
 - Kapazitätsseitig möglichst Parameter, die in der KTA Ing als gut geeignet eingestuft wurden (z. B. Rohrvolumen, Rohrmantelfläche oder TWM1/2 gebildet mit Qmax)
 - Dienstleistungsseitig Fokus auf Punkten zur Abbildung der Granularität, alternativ Verzweigungen analog Technical Blocks
 - Präferenz für Vermeidung der Polygonfläche

- keine Modelle mit Anzahl Verdichtern, da dieser Parameter insbesondere gegenüber der absoluten Verdichterleistung weniger Aussagekraft besitzt
- Keine Modelle mit Bodenklassen, sofern diese v. a. ein Proxy für Leitungslänge sind, offen insb. für Aufwandklassen 67

Dies bedeutet, dass nun im Vergleich zur Modellspezifikation in Abschnitt 5.4 für die einem Modell zugrundeliegende Kostenfunktion ein **etwas weniger strenger statistischer Maßstab** angewendet wird, z. B. werden Modelle mit Multikollinearität nicht von vornherein ausgeschlossen. Gleichzeitig kommen **neu die Kriterien der DEA hinzu**, wobei hier insbesondere die maximale Anzahl zulässiger Ausreißer wesentlich ist, damit die Ergebnisse der DEA eine hinreichende Aussagekraft haben.

Im Vergleich zur Konsultation erfolgte die Auswertung in diesem Schritt umfassender, weshalb die resultierende Endauswahl nicht überall deckungsgleich ist.

5.5.2.1 Stream 1 Rohrvolumen

Tabelle 21 zeigt die resultierenden besten Modelle mit Rohrvolumen als primärem Parameter. Aus der Tabelle lassen sich folgende Muster erkennen:

- Modelle mit **vertikaler Fläche** sind von Multikollinearität betroffen und weisen in der DEA entweder zu viele Ausreißer aus (Modelle in den ersten beiden Zeilen) oder resultieren in einer auffälligen Second-Stage-Analyse und/oder recht tiefen Mindesteffizienzen (vgl. die letzten vier Modelle kombiniert mit dynamischen Parametern, wobei jeweils die Anschlusspunkte mit Maschen oder Verzweigungen ersetzt sind). Neben der vertikalen Fläche erscheinen keine weiteren Modelle mit alternativen vertikalen oder horizontalen Parametern.
- Die abgebildeten Modelle, welche die Fläche ($yArea/yArea_all$) mit dem **Nenndurchfluss** ersetzen ($yController_flow$), führen bei höheren Mindesteffizienzen zu etwas tieferen Durchschnittseffizienzen. Jedoch liegen seitens $cTotexN$ durchwegs Second-Stage-Auffälligkeiten vor, ebenso fällt die Schiefe der Residuen nicht so aus, wie man es erwarten würde.
- Die Ergebnisse legen keinen Ersatz der **Verdichterleistung** durch Treibenergie nahe, bzw. dieser wäre bei Volumenmodellen nur dann zu prüfen, wenn ein Modell mit Nenndurchfluss gewählt würde.
- Die Modelle mit allen **Anschlusspunkten** ($yPoints_num$) und Modelle mit nur Ausspeisepunkten ($yPoints_exit_num$) unterscheiden sich nur geringfügig, wobei Letztere zu leicht besseren Resultaten führen (Mindesteffizienzen, Durchschnittseffizienzen).

Die drei Modelle, welche allen in der Tabelle gezeigten Kriterien genügen, sind grün hinterlegt und werden in die engere Auswahl aufgenommen. Dies sind einerseits das Modell der dritten Regulierungsperiode (Modell **RP3**), eine Verbesserung davon durch Einsatz der teilnetzscharfen Fläche (**RP3+**) sowie eine Variante mit Ausspeisepunkten anstatt Ein- und Ausspeisepunkten (**RP3+ Exit**). Das Grundmodell mit nicht teilnetzscharfer Fläche und Ausspeisepunkten (Modell mit BIC von 583) ist zwar leicht besser als das Modell der RP3,

fällt aber gegenüber RP3+ und RP3+ Exit klar ab (konzeptionell schwächer bei tieferen DEA-Werten), weshalb es nicht in die engere Auswahl aufgenommen wird.

Tabelle 21: Resultat Stream Rohrvolumen

ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	NS	NEG	HS	Mult	Schief	nOut	2ndS	NS	NEG	HS	Mult	Schief	nOut	2ndS	Eff	MinEff
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_vertical	566	0	0	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	nok	ok	nok	0	98.9%	84.1%
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_vertical	567	0	0	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	nok	ok	nok	0	98.8%	81.6%
RP3+ Exit	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea	583	0	0	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	0	97.9%	83.5%
	yPipe_volume	yComp_energy_used	yPoints_exit_num	yArea	580	0	0	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	0	97.8%	78.9%
RP3+	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea	582	0	0	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	0	97.6%	82.5%
	yPipe_volume	yComp_energy_used	yPoints_exit_num	yController_flow	579	0	0	ok	ok	nok	ok	1	0	0	ok	ok	ok	ok	0	97.4%	87.8%
	yPipe_volume	yComp_energy_used	yPoints_num	yController_flow	578	0	0	ok	ok	nok	ok	1	1	0	ok	ok	ok	ok	0	97.3%	87.1%
GM	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_all	583	0	0	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	0	97.2%	76.4%
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yController_flow	585	0	0	ok	ok	nok	ok	1	1	0	ok	ok	nok	ok	0	97.1%	87.0%
	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yController_flow	584	0	0	ok	ok	nok	ok	1	1	0	ok	ok	nok	ok	0	96.8%	86.3%
RP3	yPipe_volume	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_all	582	0	0	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	0	96.7%	74.7%
	yPipe_volume	yEnergy_injected	yArea_vertical	yMeshes_num	582	1	0	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	3	96.6%	66.4%
	yPipe_volume	yPeakI_deliv_Qsim	yArea_vertical	yMeshes_num	583	1	0	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	2	96.4%	74.2%
	yPipe_volume	yEnergy_delivered	yArea_vertical	yMeshes_num	581	1	0	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	4	96.4%	66.8%
	yPipe_volume	yPeakI_deliv_Qmax	yArea_vertical	yBranches_num	580	1	0	ok	nok	nok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	0	96.4%	68.4%
GM	yPipe_volume	yEnergy_delivered	yPoints_num	yArea	583	0	0	ok	ok	ok	nok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	0	96.0%	75.9%
GM	yPipe_volume	yEnergy_delivered	yPoints_num	yArea_all	583	0	0	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	0	94.2%	63.7%
GM	yPipe_volume	yPoints_entry_num	yPoints_exit_num	yArea_all	588	1	0	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	0	93.9%	68.5%

5.5.2.2 Stream 2 Rohrmantelfläche

In **Tabelle 22** sind die besten Modelle mit Mantelfläche abgebildet, gegliedert nach der input- und orientierten Bildung (obere bzw. untere Tabellenhälfte). Nicht abgebildet sind implizite Redundanzen der Kapazität bei gleichzeitiger Verwendung von Rohrmantelfläche und Höchstlast, vgl. auch Ausführungen in Abschnitt 3.5.1). Es lassen sich zunächst folgende Feststellungen treffen:

- Noch ausgeprägter als beim Rohrvolumen erscheinen **Punkte** als Komplement zum Parameter der Rohrgeometrie. Ebenfalls fast durchwegs vorhanden sind die **Verdichter** mit deren Leistung oder Treibenergie.
- Gute Modelle mit Mantelfläche gehen in der Regel nicht mit der versorgten Fläche einher.⁶¹ Stattdessen kommt auffällig oft der **Nenndurchfluss** der Druckregler zum Einsatz, gefolgt von Parametern der **Transportdimension** (Transportmoment, ausgespeiste bzw. eingespeiste Arbeit). Zwei Modelle enthalten außerdem die schweren Aufwandklassen (zSoil_AK4567_V02).

Bei der **inputorientierten Rohrmantelfläche** schneiden die beiden ersten Grundmodelle mit eingespeister Arbeit aufgrund der zu großen Anzahl an Ausreißern aus. Die übrigen Grundmodelle weisen verhältnismäßig tiefe minimale Effizienzen auf. Das dritte Modell mit Verdichterleistung und Nenndurchfluss stellt ein zwar stark endogenes, aber kohärentes Modell mit Fokus auf der Kapazitätsdimension daher. Daher wird das Modell „**Surface input**“ (referenziert mit „Sin“) in die engere Auswahl aufgenommen, obwohl es das Kriterium der Schiefe der Residuen nicht ganz besteht.

Bei der **outputorientierten Rohrmantelfläche**, bei der Netzbetreiber mit Bruchteilseigentum mehr Mantelfläche zugesprochen bekommen als anteilig verbaut, weisen tendenziell die aufgeführten Modelle mit Treibenergie leicht höhere Durchschnittseffizienzen auf als

⁶¹ Davon nur ein Model mit vertikaler Fläche, jedoch wiederum mit Multikollinearität, zusätzlich auch zwei insignifikante Parameter.

solche mit Verdichterleistung. Letztere sind jedoch aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht vorzuziehen, ebenso weisen sie bessere statistische Eigenschaften auf. Es wird das Modell mit der ausgespeisten Arbeit gewählt («**Surface output**», referenziert mit „Sout“), das statistisch einwandfrei ist und zudem die Transportdimension abdeckt. Es wird gegenüber dem Modell mit dem Nenndurchfluss vorgezogen, welches zwar alle statistischen Kriterien erfüllt, jedoch sowohl konzeptionell als auch bezüglich der DEA-Werte gegenüber seiner Entsprechung mit inputorientierter Fläche (Surface input) abfällt. Gleiches gilt für die Alternative mit allen Punkten. Ebenfalls ist es leicht besser als die Alternativen mit dem Transportmoment Arbeit (Signifikanz der Parameter, Durchschnittseffizienz). Das Modell, das statt ausgespeister Arbeit auf die eingespeiste Arbeit zurückgreift, weist sehr ähnliche Eigenschaften auf, fällt jedoch konzeptionell leicht ab (Präferenz für Ausspeisung gegenüber Einspeisung).

Tabelle 22: Resultat Stream Mantelfläche

Modell					cTotexN										cTotexS										Best-of	
ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	NS	NEG	HS	Mult	Schief	Normal	nOut	2nds	NS	NEG	HS	Mult	Schief	Normal	nOut	2nds	Eff	MinEff			
GM	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yEnergy_injected	576	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	nok	0	96.9%	81.1%		
GM	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_num	yEnergy_injected	575	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	nok	0	96.6%	79.4%		
Sin	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yController_flow	575	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	ok	0	96.5%	79.7%		
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_num	yController_flow	575	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	ok	0	96.4%	79.7%		
	yPipe_surface_i	yComp_energy_used	yPoints_exit_num	yController_flow	564	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	ok	0	96.0%	84.3%		
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yTM_Qjahr_RD	582	1	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	95.8%	81.1%		
GM	yPipe_surface_i	yComp_energy_used	yPoints_num	yController_flow	564	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	ok	0	95.8%	83.9%		
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea	575	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	nok	0	95.7%	60.5%		
	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea	574	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	94.5%	60.5%		
	yPipe_surface_i	yEnergy_delivered	yBranches_num	yArea	583	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	94.3%	72.3%		
GM	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_all	575	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	94.1%	59.0%		
GM	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_all	575	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	93.8%	59.0%		
GM	yPipe_surface_i	yEnergy_delivered	yBranches_num	yArea_all	583	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	93.4%	66.3%		
GM	yPipe_surface_i	yComp_power_sum	yBranches_num	yArea	579	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	1	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	91.8%	60.5%		
GM	yPipe_surface	yComp_energy_used	yPoints_exit_num	yController_flow	574	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	ok	0	98.6%	87.3%		
	yPipe_surface	yComp_energy_used	yPoints_num	yController_flow	574	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	ok	0	98.6%	86.0%		
	yPipe_surface	yEnergy_delivered_h	yPoints_entry_num	yArea_vertical	593	2	0	ok	nok	ok	ok	ok	0	2	0	ok	nok	ok	ok	ok	ok	0	96.2%	71.7%		
	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yController_flow	583	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	96.1%	76.5%		
	yPipe_surface	yComp_energy_used	yPoints_num	zSoil_AK4567_V02	580	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	1	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	ok	0	96.0%	64.1%		
	yPipe_surface	yComp_energy_used	yPoints_entry_num	yController_flow	586	2	0	ok	nok	nok	ok	ok	0	2	0	ok	nok	ok	ok	ok	ok	0	95.9%	69.1%		
	yPipe_surface	yComp_energy_used	yPoints_exit_num	zSoil_AK4567_V02	580	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	1	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	1	95.9%	64.4%			
	Sout	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yEnergy_delivered	581	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	95.8%	74.3%	
GM	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_num	yController_flow	583	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	95.8%	76.3%		
	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_num	yEnergy_injected	582	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	95.7%	75.1%		
GM	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yTM_Qjahr_RD	586	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	95.2%	76.1%		
GM	yPipe_surface	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yTM_Qjahr_LD	587	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	95.0%	72.9%		
GM	yPipe_surface	yComp_power_sum	yBranches_num	yTM_Qjahr_RD	589	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	ok	0	89.2%	60.0%		

Quelle: Eigene Darstellung

5.5.2.3 Stream 3 TWM

In **Tabelle 23** sind die besten Modelle einschließlich der Grundmodelle mit den Leit-Parametern TM/TWM, jeweils gebildet mit Qmax, abgebildet. Generell ist es schwieriger, Modelle mit TM/TWM zu finden, die statistisch gut sind und vergleichbare Durchschnittseffizienzen aufweisen. Letzteres überrascht nicht, da erwartet werden kann, dass stärker exogene Parameter einen stärkeren Effizienzmaßstab begründen als ihre endogenen Entsprechungen.

Aus der Tabelle lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Die Grundmodelle aus dem TD/TB-Verfahren gehen mit vergleichsweise tiefen Effizienzwerten einher, zudem bestehen entweder Second-Stage-Probleme (TD-Grundmodelle) oder Parameter sind nicht signifikant (TB-Grundmodelle).
- Gute Modelle mit dem TM/TWM enthalten entweder **Ausspeisepunkte oder Punkte**. Die Modelle mit Maschen weisen verhältnismäßig tiefe Mindesteffizienzen aus.

- Daneben kommen oft **Verdichter oder Bodenklassen** vor, seltener die Jahresarbeit. Die Modelle mit Bodenklassen führen tendenziell zu Auffälligkeiten bei der Second-Stage-Analyse.
- In fast allen besten TWM1-Modellen kommt die **vertikale Fläche** zum Einsatz.
- Die Modelle scheinen **tendenziell überspezifiziert**. Alle Modelle leiden entweder unter Multikollinearität oder nicht erwarteter Schiefe der Residuen, i. d. R. ist auch ein Parameter nicht signifikant. Eine nähere Betrachtung zeigt, dass sämtliche Modelle mit vertikalen Parametern (yArea_vertical, yEnergy_delivered_vertical) unter Multikollinearität leiden, wobei jeweils insbesondere die vertikale Fläche mit hohen VIF-Werten einhergeht.
- Vor dem Hintergrund ist es nicht überraschend, dass die beiden **Modelle mit nur drei Parametern** weit oben rangieren. Das Transportwurzelmoment (yTWM2_Qmax bzw. yTWM1_Qmax) wird dabei von Ausspeisepunkten und der Treibenergie ergänzt.

Insgesamt haben somit die Modelle mit TM/TWM einen eher schweren Stand. Aufgrund seiner weitgehend guten Eigenschaften bei nur drei Parametern wird das mit «TWM2» bezeichnete Modell in die Endauswahl aufgenommen, obwohl es beim Kriterium der Schiefe anschlägt. In diesem Modell sind alle drei Versorgungsdimensionen abgedeckt.

Tabelle 23: Resultat Stream TWM

Modell					cTotexN										cTotexS										Best-of	
ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	NS	NEG	HS	Mult	Schief	Normal	nOut	2ndS	NS	NEG	HS	Mult	Schief	Normal	nOut	2ndS	Eff	MinEff			
TWM2	yTWM2_Qmax	yComp_energy_used	yPoints_exit_num		595	1	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	94.6%	77.3%			
	yTWM2_Qmax	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_vertical	584	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	ok	0	93.7%	76.8%			
	yTWM2_Qmax	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yEnergy_delivered_v	575	0	0	ok	nok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	nok	ok	ok	ok	0	93.3%	79.5%			
	yTWM2_Qmax	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	zSoil_AK4567_V02	582	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	1	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	1	91.5%	70.0%			
GM TD	yTWM1_Qmax	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_vertical	580	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	ok	0	96.9%	83.8%			
	yTWM1_Qmax	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_vertical	581	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	ok	0	96.5%	80.4%			
	yTWM1_Qmax	yComp_energy_used	yPoints_exit_num		597	1	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	95.6%	75.1%			
	yTWM1_Qmax	zSoil_AK4567_V02	yMeshes_num	yArea_vertical	579	1	0	ok	nok	ok	ok	ok	1	1	0	ok	nok	ok	ok	ok	1	95.6%	59.6%			
	yTWM1_Qmax	zGeo_NEIG_avg	yPoints_num	yArea_vertical	575	0	0	ok	nok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	nok	ok	ok	ok	0	95.4%	80.2%			
	yTWM1_Qmax	zSoil_AK4567_V02	yPoints_exit_num	yArea_vertical	575	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	1	0	0	ok	nok	ok	ok	ok	1	94.1%	74.5%			
	yTWM1_Qmax	yEnergy_injected	yMeshes_num	yArea_vertical	581	1	0	ok	nok	ok	ok	ok	0	1	1	ok	nok	ok	ok	ok	0	93.6%	56.9%			
	yTWM1_Qmax	yComp_energy_used	yPoints_exit_num	yArea_vertical	582	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	ok	0	93.4%	73.3%			
	yTWM1_Qmax	zSoil_AK4567_V02	yPoints_num	yArea_vertical	576	1	0	ok	nok	nok	ok	ok	1	0	0	ok	nok	ok	ok	ok	1	93.2%	74.5%			
	yTWM1_Qmax	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	zSoil_AK4567_V02	584	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	1	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	1	88.6%	68.1%			
		yTM_Qmax_RD	zSoil_AK4567_V02	yMeshes_num	yArea_all	596	0	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	93.8%	60.2%		
		yTM_Qmax_RD	yEnergy_delivered_vert	yMeshes_num	yArea	590	0	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	ok	nok	ok	ok	0	93.0%	58.6%		
	GM TB	yTM_Qmax_RD	yComp_power_sum	yPoints_exit_num	yArea_vertical	589	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	2	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	90.8%	44.8%		
	GM TB	yTM_Qmax_RD	yComp_power_sum	yPoints_num	yArea_vertical	590	1	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	2	0	ok	ok	ok	ok	ok	0	88.1%	46.6%		

Quelle: Eigene Darstellung

5.5.2.4 Stream 4 Übrige

Komplementierend zu den obigen drei Streams werden in einem vierten Stream alle übrigen möglichen Modelle ausgewertet. **Tabelle 24** zeigt die besten Modelle, welche den gesetzten Kriterien genügen.

- Alle Modelle beinhalten mindestens einen «**dynamischen Parameter**», i. d. R. ist dies die Jahreshöchstlast in verschiedenen Variationen (Qmax oder Qsim, Ein- oder Ausspeiseseite).
- Modelle, die auf der **Leitungslänge** aufbauen, gehen i. d. R. sowohl mit der Verdichterleistung als auch der Jahreshöchstlast einher. Dazu gesellt sich ein vertikaler Parameter (Fläche oder Arbeit), jedoch keine Punkte, Verzweigungen oder Maschen.

- Punkte und Verzweigungen fehlen gänzlich, **Maschen** kommen in Modellen ohne Leitungslänge/Rohrgeometrie jeweils zusammen mit den schweren Aufwandklassen (zSoil_AK4567_V02) und Polygonfläche (yArea oder yArea_all) vor.

Gerade bei den Modellen mit besonders hoher Durchschnittseffizienz liegen oft nicht signifikante Parameter, Multikollinearität und/oder eine unerwartete Schiefe der Residuen vor. Dies zeigt an, dass es sich tendenziell um überspezifizierte Modelle handelt. Gleichzeitig liegt kein Modell vor, das aus ingenieurswissenschaftlicher Sicht heraussticht und die Versorgungsaufgabe ganzheitlich abbilden würde: Bei Modellen mit Leitungslängen fehlen Parameter für die Granularität der Versorgungsaufgabe. In den Modellen, in denen die Anzahl Maschen vorkommt, wird die Netzausdehnung allein durch die Polygonfläche abgedeckt, wobei das Verhältnis Netzausdehnung zu Maschen wenig belastbar scheint, um den Rohrleitungsbedarf indirekt abzubilden.

Aus diesen Gründen wird kein Modell in die engere Auswahl aufgenommen.

Tabelle 24: Resultat Stream Permutation

Modell					cTotexN								cTotexS								Best-of	
ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	NS	NEG	HS	Mult	Schief	nOut	2nds	NS	NEG	HS	Mult	Schief	nOut	2nds	Eff	MinEff	
	yPipe_length	yPeakl_inj_Qmax	zSoil_AK4567_V02	yArea_vertical	586	2	0	ok	nok	nok	ok	0	2	0	ok	nok	nok	ok	0	98.6%	93.8%	
	yPipe_length	yComp_power_sum	yPeakl_inj_Qsim	yArea_vertical	578	1	0	ok	nok	nok	ok	0	1	0	ok	nok	nok	ok	0	98.3%	90.2%	
	yPipe_length	yComp_power_sum	yPeakl_del_Qsim	yArea_vertical	575	0	0	ok	nok	nok	ok	0	2	0	ok	nok	nok	ok	2	98.0%	89.1%	
	yPeakl_inj_Qmax	zSoil_AK4567_V02	yMeshes_num	yArea_all	591	0	0	ok	ok	nok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	0	98.0%	84.9%	
	yPipe_length	yComp_power_sum	yController_flow	yEnergy_del_vertica	581	1	0	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	0	97.5%	87.4%	
	yPipe_length	yComp_power_sum	yPeakl_del_Qmax_vv	yEnergy_injected	576	0	0	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	0	97.4%	83.0%	
	yPipe_length	yComp_power_sum	yPeakl_del_Qsim	yEnergy_del_vertica	572	0	0	ok	nok	nok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	0	97.4%	84.6%	
	yPeakl_inj_Qsim	zSoil_AK4567_V02	yMeshes_num	yArea_all	594	0	0	ok	ok	ok	ok	0	0	0	ok	ok	ok	ok	0	97.3%	81.0%	
	yPeakl_inj_Qmax	zSoil_AK4567_V02	yMeshes_num	yArea	592	0	0	ok	ok	nok	ok	0	0	0	ok	ok	nok	ok	0	97.3%	82.0%	

Quelle: Eigene Darstellung

5.5.2.5 Modellvorschläge der Netzbetreiber

Im Nachgang zur Konsultation sind konkrete Modellvorschläge eingegangen, die nachfolgend in **Tabelle 25** entlang der gleichen Kriterien gezeigt werden.

Kombination Vertikale Fläche / horizontale Last

Zwei Modellvorschläge wurden um das komplementäre Paar vertikale Fläche und horizontale Last gebaut:⁶²

⁶² Laut FNB stelle der neu entwickelten Parameter „vertikale Fläche“, der durch seine exogene Komponente besteche, sicher, dass sich eine Ausdehnung des Netzes auf die tatsächlich notwendige Netzausdehnung und damit auf die erforderlichen Leitungslängen und -kosten beziehe. Das obligatorische Pendant zur Abbildung einer damit einhergehenden Transitfunktion sei ein horizontaler Vergleichsparameter, wofür die horizontale zeitungleiche Jahreshöchstlast in Frage komme. Da unter den horizontalen Parametern mit der höheren Kostenkorrelation, erscheine diese geeigneter. Zur stärkeren Abbildung der Kapazitätsdimension würden das Rohrvolumen oder ggf. die Verdichterleistung als sehr robuste Vergleichsparameter in Betracht kommen. Als vierter Parameter seien die Punkte trotz der geringen Kostenkorrelation partiell geeignet.

- Das erste Modell ersetzt im Vergleich zum zweiten Modell in Tabelle 21 die Verdichterleistung durch den horizontalen Transport gebildet mit Qmax. Es liegt im Modell ebenfalls Multikollinearität vor. Bei cTotexS gibt es nur einen Ausreißer, gleichzeitig liegt jedoch insbesondere die Mindesteffizienz deutlich tiefer.
- Das zweite Modell, bei dem im Vergleich zum ersten Modell das Rohrvolumen durch die Verdichterleistung ersetzt wird, weist jeweils zwei nichtsignifikante Parameter auf und führt sehr tiefen Mindesteffizienzen, was darauf hindeutet, dass die vertikale Fläche die Rohrleitungen, die für die vertikale Versorgung notwendig sind, nur unzulänglich abbildet.

Aus den obigen Gründen wird keines der beiden Modelle in die Endauswahl übernommen.

Alternative Modelle mit Rohrgeometrie und Verdichterleistung

Ein Netzbetreiber hat im Nachgang zur Konsultation drei konkrete Modellvorschläge eingebracht. Zwei Modelle wurden bereits in den obigen Streams behandelt:

- Das Modell mit inputorientierter Mantelfläche, Verdichterleistung, Punkte (yPoints.num) und teilnetzscharfer Fläche (yArea) befindet sich in der Mitte von Tabelle 22. Es weist sehr gute statistische Eigenschaften aus, wurde aber nicht gewählt, da es eine tiefe Mindesteffizienz anzeigt (60,5%) und die gewählte Alternative („Sin“) auch aus konzeptioneller Sicht Vorzüge aufweist.
- Beim vorgeschlagenen Modell mit Rohrvolumen und vertikaler Fläche handelt es sich um das Zweitoberste von Tabelle 21. Es konnte insbesondere aufgrund der zu hohen Anzahl an Ausreißern bei cTotexS nicht berücksichtigt werden.
- Ein drittes Modell ergänzt Rohrvolumen, die Verdichterleistung und Punkte mit dem Bodenklassenparameter zSoil_BK0267_V02. Das Modell ist in Tabelle 25 unter NB-B aufgeführt. Aus statistischer Sicht liegt erwartungsgemäß Multikollinearität vor, als Effizienzgrenze liegt die Mindesteffizienz eher tief. Wie zur Korrelationsmatrix (Abbildung 27) bereits ausgeführt, ist der hohe Erklärungsgehalt des Parameters (besser als die Rohrmantelfläche) mehr ein Zeichen dafür, dass der Parameter einen Proxy für das Leitungsgerüst darstellt als für besonders teure Leitungsabschnitte. Diesbezüglich liegen die neu gebildeten, präziseren Aufwandsklassen viel eher im Rahmen der Erwartungen. Die Aufwandsklassen 67 würden die Multikollinearität im Modell erwartungsgemäß lösen (mit tieferen Durchschnittseffizienzen), sind aber als Parameter nicht signifikant (vgl. viertes Modell in der Tabelle).

Tabelle 25: Vorschläge Netzbetreiber

Modell	ID	Var1	Var2	Var3	Var4	BIC	cTotexN							cTotexS							Best-of	
							NS	NEG	HS	Mult	Schief	nOut	2nds	NS	NEG	HS	Mult	Schief	nOut	2nds	Eff	MinEff
NB-A		yArea_vertical	yPeakI_del_Qmax_horiz	yPipe_volume	yPoints_num	571	0	0	ok	nok	ok	ok	0	1	0	ok	nok	ok	ok	0	95.1%	68.9%
NB-A		yArea_vertical	yPeakI_del_Qmax_horiz	yComp_power_sum	yPoints_num	596	2	0	ok	ok	ok	ok	0	2	0	ok	ok	ok	ok	0	85.2%	39.9%
NB-B		yPipe_volume	yPoints_num	yComp_power_sum	zSoil_BK0267_V02	582	0	0	ok	nok	ok	ok	0	0	0	ok	nok	ok	ok	0	95.6%	70.0%
		yPipe_volume	yPoints_num	yComp_power_sum	zSoil_AK67_V02	590	1	0	ok	ok	nok	ok	1	1	0	ok	ok	ok	ok	0	93.0%	70.0%

Quelle: Eigene Darstellung

5.5.3 Modellwahl

Die gemäß Stream 1 bis 4 (siehe Abschnitt 5.5.2) in die engere Auswahl aufgenommenen Modelle einschließlich dem Modell der RP3 werden nun einander gegenübergestellt. **Tabelle 26** beinhaltet eine vergleichende Übersicht entlang der wichtigsten konzeptionellen, regulatorischen und statistischen Kriterien gemäß Abschnitt 5.2. Die Beurteilung der Modelle ist im unteren Teil der Tabelle zusammengefasst. Sie lässt sich wie folgt ausführen:

- Aus **konzeptioneller Sicht** handelt es sich durchwegs um gute Modelle, bei denen die wesentlichen Versorgungsdimensionen (Kapazität, Dienstleistung) schlüssig abgedeckt sind. Die fakultative, nicht direkt auslegungsrelevante Transportdimension wird nur von den beiden letzten Modellen abgedeckt (Surface input, TWM2). Alle Modelle gehen mit leichten Schwachpunkten einher. Das RP3 Modell beinhaltet die Polygonfläche, die nicht ohne weiteres fassbar ist. Bei den beiden Derivaten RP3+ und RP3+ Exit kommt diesbezüglich die teilnetzstarke Bildung zum Einsatz, welche gerade mit Blick auf die gewünschte Nicht-Beeinflussbarkeit besser abschneidet. Das Modell mit der inputorientierten Mantelfläche besitzt mit dem Nenndurchfluss der Druckregler eine Schwachstelle: Druckregler machen nur einen kleinen Teil der Kosten aus, gleichzeitig ist es teils arbiträr, ob diese im vor- oder nachgelagerten Netz angebracht sind. Bei der outputorientierten Mantelfläche werden möglicherweise Netzbetreiber mit Bruchteilseigentum zu gut bewertet, gleichzeitig hat die ausgespeiste Jahresarbeit vor dem Hintergrund der in Abschnitt 4.4.3 aufgezeigten Schiefstände einen schwierigen Stand. Diesbezüglich besser ist das TWM2-Modell, welches Treibenergiebedarf im Basisjahr abbildet und ohne Fläche auskommt. Das TWM2 kann jedoch exogen bedingte, strukturelle Änderungen in den Gasflüssen nur partiell abbilden.
- Aus **regulatorischer Sicht** besticht mit Blick auf die Beeinflussbarkeit das Modell TWM2, bei dem nur die Treibenergie als stärker endogen gilt. Naturgemäß stehen das RP3-Modell und seine Derivate für hohe Modellkontinuität (höchstens zwei Parameter leicht angepasst) und Robustheit (über nun drei Regulierungsperioden geeignet trotz maßgeblicher Änderungen in den Daten). Demgegenüber ändern sich bei den übrigen drei Modellen mindestens zwei Parameter grundlegend. Die Ergebniskontinuität ist am ehesten beim Modell RP3+ Exit gegeben.⁶³
- Aus **statistischer Sicht** weisen die Modelle weitestgehend sehr gute Eigenschaften auf.
- Als **DEA-Effizienzgrenze** weisen alle Modelle hohe Durchschnittseffizienzen auf. Auch das TWM2-Modell mit seinen drei Parametern kommt auf fast 95% zu liegen. Die Mindesteffizienzen bewegen sich ebenfalls im Rahmen – der höchste Wert liegt bei 83.5% beim Modell RP3+ Exit. Die Anzahl Ausreißer wird naturgemäß von allen

⁶³ Die Durchschnittseffizienz lag in der letzten Regulierungsperiode zum Zeitpunkt der Modellwahl bei 98.1%, die Mindesteffizienz bei 77.7%, vgl. Gutachten EFG3. Ex post lag die Mindesteffizienz aufgrund von nachträglichen Datenänderungen bei 84.3%, die Durchschnittseffizienz bei 98.5%.

Modellen erfüllt⁶⁴, da Modelle mit mehr Ausreißern im Rahmen der Weiterentwicklung der Grundmodelle in Abschnitt 5.5.2 ausgeschlossen wurden. Die Korrelation der Effizienzwerte ist durchwegs ausreichend gut und erreicht beim TWM2-Modell gar hohe 94%.⁶⁵ Letzteres Modell erscheint jedoch unausgewogen beim Peercount der cTotexS-Schätzung, wo zwei Ausreißer weniger vorliegen und ein Unternehmen inklusive sich selbst für zwölf Netzbetreiber als Peer erscheint. Die Second-Stage-Analyse fällt für alle Unternehmen gut aus (d. h. kein Parameter ist signifikant, wenn er auf die bestabgerechneten Effizienzwerte regressiert wird).

- **Als Kostenfunktion** weisen insbesondere die RP3-basierten Modelle sowie das Modell mit der outputorientierten Mantelfläche sehr gute Eigenschaften auf. Alle Tests sind erfüllt und die Residuen weisen die erwartete Verteilung zum Einsatz als Effizienzgrenze auf. Das RP3 Modell selbst schneidet gegenüber seinen beiden Derivaten in der robusten Regression besser ab, wo auch bei cTotexS alle Koeffizienten positiv und signifikant sind. Die Modelle mit der inputorientierten Mantelfläche und TWM2 weisen eine signifikante Schiefe in die falsche Richtung auf, und fallen diesbezüglich gegenüber den übrigen Modellen leicht ab.

⁶⁴ Maximal zwei Ausreißer bei vier Parametern, maximal vier bei drei Parametern, vgl. Abschnitt 5.5.1.4.

⁶⁵ Zum Vergleich: Das Modell aus Stream 4 mit der höchsten Durchschnittseffizienz erreicht eine Korrelation von nur 13%.

Tabelle 26: Übersicht engere Modellauswahl

Modell:	RP3	RP3+	RP3+ Exit	Surface input	Surface output	TWM2
Vergleichsparameter 1	yPipe_volume	yPipe_volume	yPipe_volume	yPipe_surface_input	yPipe_surface	yTWM2_Qmax
Vergleichsparameter 2	yComp_power_sum	yComp_power_sum	yComp_power_sum	yComp_power_sum	yComp_power_sum	yComp_energy_used
Vergleichsparameter 3	yPoints_num	yPoints_num	yPoints_exit_num	yPoints_exit_num	yPoints_exit_num	yPoints_exit_num
Vergleichsparameter 4	yArea_all	yArea	yArea	yController_flow	yEnergy_delivered	
Konzeptionelle Kriterien						
Ing.-Wiss	Stimmiges Modell, Schwachpunkt Fläche	Stimmiges Modell, Schwachpunkt Fläche leicht verbessert	Stimmiges Modell, Schwachpunkt Fläche leicht verbessert	Stimmiges Modell, Nenndurchfluss mit Schwachpunkten	Stimmiges Modell, outputorientierte Mantelfläche mit Schwachpunkten	Stimmiges Modell, TWM kontrovers als "dynamischer Parameter"
Vollständigkeit	Arbeit fehlend	Arbeit fehlend	Arbeit fehlend	Arbeit fehlend	ja	ja
Regulatorische Kriterien						
Beeinflussbarkeit	Mehr endogen	Mehr endogen	Mehr endogen	Weitgehend endogen	2 endogen, 2 exogen	Mehr exogen
Modellkontinuität	ja (identisch)	ok (1 angepasst)	ok (2 angepasst)	nein (2 neu, 1 ang.)	nein (2 neu, 1 ang.)	nein (2 neu, 1 ang.)
Ergebniskontinuität	ok	gut	gut	ok	ok	ok
Statistische Kriterien - DEA/Effizienzgrenze						
Durchschnitt	96.7%	97.6%	97.9%	96.5%	95.8%	94.6%
Mindesteffizienz	74.7%	82.5%	83.5%	79.7%	74.3%	77.3%
Dominante NB	1 / 2	1 / 2	1 / 2	1 / 0	0 / 1	1 / 0
Supereffiziente NB	1 / 0	1 / 0	1 / 0	1 / 1	2 / 1	3 / 2
Total Ausreisser	2 / 2	2 / 2	2 / 2	2 / 1	2 / 2	4 / 2
Korrelation Effizienzwerte	74%	66%	68%	75%	88%	94%
Max Peercout	6 / 5	7 / 4	6 / 4	6 / 7	7 / 6	6 / 12
Second-Stage (sig. Par)	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Statistische Kriterien - Kostenfunktion/Validierung						
Durchschnitt BIC	582	582	583	575	581	595
Homoskedastizität	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok
Normalverteilung Shapiro	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok
Nichtsign. Koef. OLS	0 / 0	0 / 0	0 / 1	0 / 0	0 / 0	1 / 1
Vorzeichen OLS	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Vorzeichen ROLS	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Multikollinearität Belsley	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok
Multikollinearität VIF	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok
Schiefe (vorhanden)	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok	ok / ok
Schiefe (Richtung)	ok / ok	ok / ok	ok / ok	nok / nok	ok / ok	nok / nok

Hinweis: Namen der Verdichterparameter abgekürzt zur besseren Lesbarkeit (yComp... = yCompressor...).

Quelle: Eigene Darstellung

Über alle Aspekte hinweg schneiden die Modelle RP3+ und RP3+ Exit am besten ab. Sie sind konzeptionell grundsätzlich stimmig, gleichzeitig werden die Bedenken der Gutachter bezüglich der Polygonfläche von den Netzbetreibern großmehrheitlich nicht geteilt und der Ersatz von yArea_all durch die teilnetzstarke Variante yArea stellt eine Verbesserung gegenüber der dritten Regulierungsperiode dar. Als Effizienzgrenze und Kostenfunktion sind alle wesentlichen Punkte erfüllt. Von den übrigen drei Modellen – alle mit Parametern, die von den Netzbetreibern teils bemängelt wurden – ist aus konzeptioneller Sicht das TWM2-Modell am besten, jedoch überzeugt es trotz seiner nur drei Parameter aus statistischer Sicht nicht eindeutig als Effizienzgrenze und Kostenfunktion.

Aus diesen Gründen und in besonderer Beachtung des Vorsichtsprinzips wird das **Modell RP3+ Exit** zur Detailspezifikation gewählt. Da dieses sehr nahe zum Modell RP3+ liegt, wird die Frage der Punkte (Ersatz der Punkte durch Ausspeisepunkte) nachfolgend im Rahmen der Detailspezifikation nochmals aufgegriffen.

5.5.4 Detailspezifikation

Bei der Detailspezifikation werden nochmals ausgewählte statistische, konzeptionelle und regulatorische Fragen geprüft.

Da eine SFA nicht anwendbar, die DEA gemäß ARegV mit konstanten Skalenerträgen durchzuführen ist und auch die Second-Stage-Analyse des Modells RP3+ Exit sehr gut ausfällt, ergibt sich aus **statistischer Sicht** kein Anpassungsbedarf. Bei der Ausreißeranalyse besteht der Vorteil, dass die jeweiligen Ausreißer bei beiden Kostenbasen deckungsgleich sind, d. h. über beide Kostenbasen hinweg liegen zwei Netzbetreiber vor, die als Ausreißer klassiert werden. Es sind dies die Netzbetreiber 12000436 und 12003651.

Aus **konzeptioneller und regulatorischer Sicht** stellt sich die Frage, ob sich die beiden Änderungen Polygonfläche (yArea statt yArea_all) und Ausspeisepunkte (yPoints_exit_num statt yPoints_num) rechtfertigen.

- **Polygonfläche:** Tabelle 21 ist zu entnehmen, dass – unabhängig davon, ob alle Anschlusspunkte oder nur Ausspeisepunkte gewählt werden – eine Verwendung von yArea zu einer tieferen durchschnittlichen Effizienz inkl. Mindesteffizienz führen würde. Beim Parameter yArea wird die Fläche basierend auf jeweils vollständigen, zusammenhängenden Teilnetzen gebildet. Demgegenüber werden beim Parameter yArea_all grundsätzlich alle Knoten und Anschlüsse unabhängig von ihrer physikalischen Verbundenheit berücksichtigt und je Gasqualität die Fläche des Gesamtnetzes berechnet (vgl. Abschnitt A.2.6). yArea ist grundsätzlich weniger endogen geprägt (vgl. Abschnitt 3.2.3) und wird – anders noch als in der RP3 – gemäß Stellungnahmen i.d.R. auch von den Netzbetreibern als vorzugswürdig angesehen. Aufgrund der konzeptionellen Verbesserung erscheint daher ein Wechsel auf yArea als vorzugswürdig.
- **Ausspeisepunkte:** Die Verwendung der Ausspeisepunkte anstatt der ungewichteten Summe von Ein- und Ausspeisung bietet einen gewissen Vorteil insbesondere dann, wenn Errichtung und/oder Betrieb von Ein- und Ausspeisepunkte mit unterschiedlichen Kosten verbunden sind und Ein- und Ausspeisepunkte am gleichen Ort nicht mit doppelten Kosten einhergehen. Vorliegend sollen die Punkte v. a. auch die Granularität der Versorgungsaufgabe abbilden. Hierfür scheinen die Ausspeisepunkte alleine grundsätzlich gut geeignet. Damit einhergehend bilden sie gut den verteilenden Charakter der Versorgungsaufgabe ab. Da nun – anders als noch in der RP3 – das Modell mit Ausspeisepunkten auch aus statistischer Sicht gut⁶⁶ ist, ist ein Wechsel auch im Sinne des Vorsichtsprinzip naheliegend.

Die Effizienzberechnung und Validierung wird daher für das in **Tabelle 27** beschriebene Modell RP3+ Exit dokumentiert (linke Spalte).

⁶⁶ Alle wichtigen Kriterien sind erfüllt. Ein gewisser Nachteil ergibt sich in der cTotexS-Validierung, bei der in der OLS ein Parameter „nur“ auf dem 90%-Niveau signifikant ist. Ebenfalls sind in der robusten Regression cTotexS-seitig drei Parameter insignifikant, wobei der p-Wert höchstens 0,2046 beträgt, d.h. das Signifikanzniveau liegt mindestens bei etwa 80%. Da gleichzeitig alle Vorzeichen positiv sind, keine Multikollinearität vorliegt und auch alle anderen Kriterien erfüllt sind, eignet sich das Modell als Kostenfunktion.

Tabelle 27: Beschreibung finales Modell für den Effizienzvergleich

Parameter	Beschreibung	Abdeckung der Versorgungsdimensionen
yPipe_volume	Rohrleitungsvolumen bereinigt um Fremdnutzungsanteile, Bio- und Investitionsmaßnahmen	Bildet die bestehende Rohrdimensionierung ab, dabei Abdeckung von zwei Dimensionen: Kapazitätsbereitstellung durch die verlegte Rohrkapazität (Durchmesser der Leitungsabschnitte) Dienstleistungsbereitstellung im Sinne einer Verbindung aller Ein- und Ausspeisepunkte (Länge Leitungsabschnitte)
yArea	Versorgte Fläche des Netzbetreibers als teilnetzschärf gebildete, überlappungsfreie Polygonfläche je Gasqualität	Dienstleistungsbereitstellung durch Abbildung der (potenziell) versorgten Fläche, implizit ggf. zusätzlich Aspekt Komplexität der Netzstruktur und Flexibilität bereitstellung.
yPoints_exit_num	Anzahl Ausspeisepunkte	Dienstleistungsbereitstellung durch Versorgung und Betrieb der Ausspeisepunkte, dazu Aspekt Granularität der Versorgungsaufgabe inkl. Komplexität/Flexibilität.
yCompressor_power_sum	Verdichterleistung bereinigt um Fremdnutzungsanteile, Bio- und Investitionsmaßnahmen	Kapazitätsbereitstellung in Form installierter Verdichterleistung zur Leistung der benötigten Drücke/Mengen mit komplementärem Charakter ergänzend zum Rohrvolumen.

Quelle: Eigene Darstellung

5.5.5 Bestabgerechnete Effizienzwerte

Tabelle 28 und **Abbildung 31** stellen die bestabgerechneten Effizienzwerte des gewählten Modells vor und nach der Ausreißeranalyse dar. Der Berechnung liegen die Parameterwerte gemäß Anhang E zugrunde. Durch die Ausreißerbereinigung steigen die Werte insbesondere von denjenigen Unternehmen an, welche vor Ausreißeranalyse verhältnismäßig tiefe Effizienzwerte aufweisen.

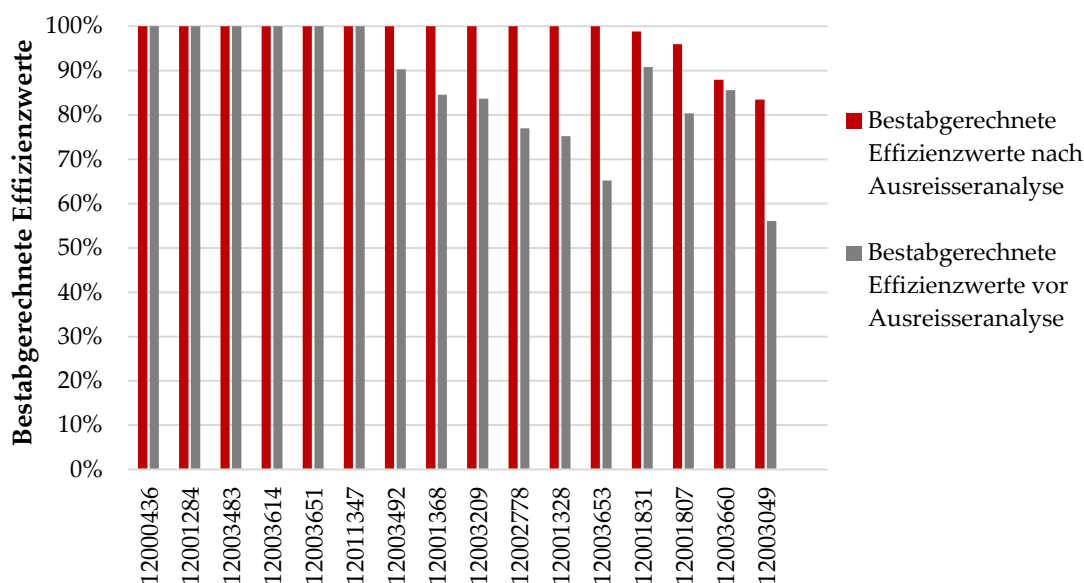
Tabelle 28: Effizienzwerte des finalen Modells

	Mittelwert	Minimale Effizienz	Anzahl Ausreißer	Anzahl 100%
Effizienzwerte vor Ausreißeranalyse				
cTotexS	85.1%	53.0%	-	5
cTotexN	84.3%	56.1%	-	6
Bestabgerechnet	86.8%	56.1%		6
Effizienzwerte nach Ausreißeranalyse				
cTotexS	97.0%	79.6%	2	11
cTotexN	95.8%	71.7%	2	10
RP4 bestabgerechnet	97.9%	83.5%	2	12
RP3 bestabgerechnet ⁶⁷	98.1%	77.7%	2	13

Quelle: Eigene Darstellung

⁶⁷ Vgl. Ausführungen in Fussnote 63.

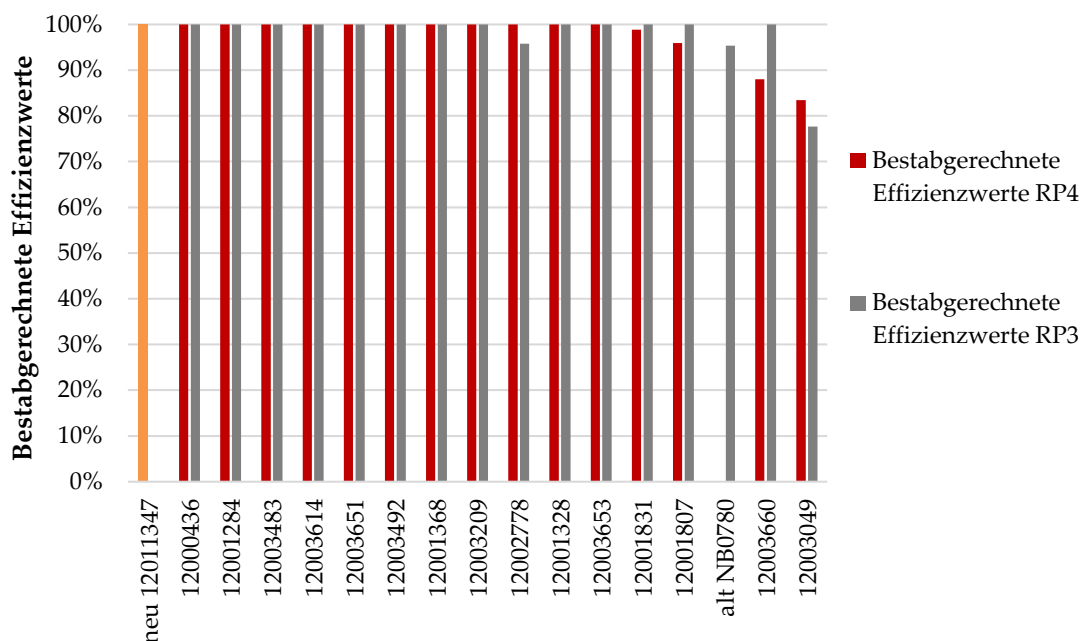
Abbildung 31: Verteilung der bestabgerechneten Effizienzwerte



Quelle: Eigene Darstellung

Die Werte der RP4 bewegen sich damit stark im Rahmen der Werte der RP3 gemäß Gutachten EFG3. Dies zeigt **Abbildung 32**. Der Netzbetreiber mit dem tiefsten Effizienzwert weist wiederum den tiefsten Wert auf. Daneben haben sich drei Netzbetreiber ausgehend von 100% verschlechtert, während zwei Netzbetreiber eine Verbesserung der Effizienz erzielt haben. Zehn von fünfzehn Netzbetreibern, die in beiden Regulierungsperioden im Effizienzvergleich berücksichtigt wurden, haben unveränderte Effizienzwerte. Der neue Netzbetreiber (12011347) weist einen Effizienzwert von 100% auf (orange Säule links).

Abbildung 32: Veränderung der bestabgerechneten Effizienzwerte



Quelle: Eigene Darstellung

5.5.6 Validierung

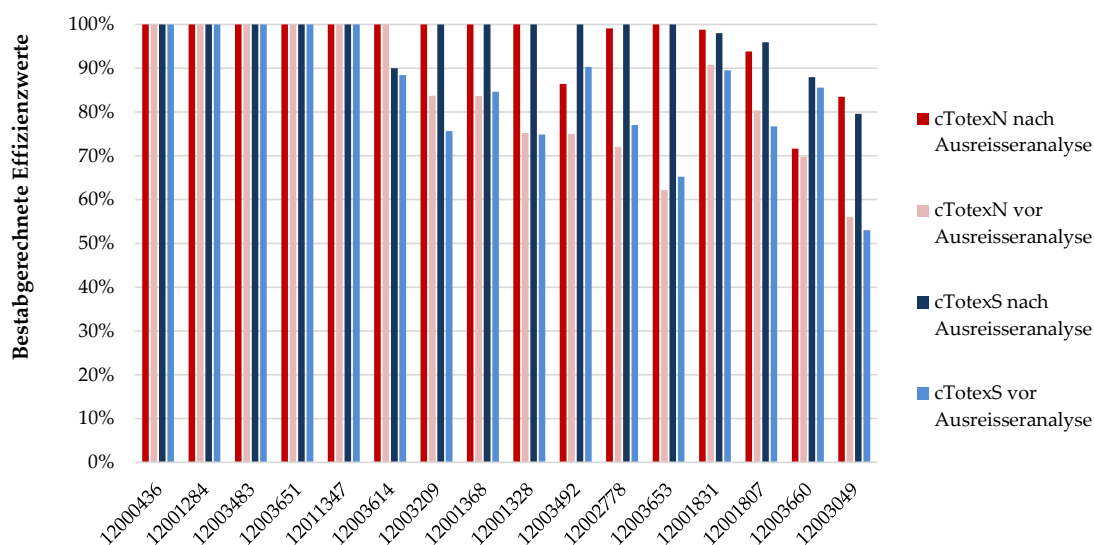
Vor seiner definitiven Auswahl wurde das gewählte Modell eingehend validiert. Nachfolgend werden neben der Ausreißeranalyse die Peer-Analyse, die Second-Stage-Analyse und die Validierung als Kostenfunktion dokumentiert.

5.5.6.1 Ausreißeranalyse

Effekt der Ausreißerbereinigung auf die Effizienzwerte

Der Effekt der Ausreißeranalyse (AA) auf die Effizienzwerte wurde schon oben in Tabelle 28 und Abbildung 31 summarisch dargestellt. Demnach steigt die bestabgerechnete Effizienz nach der Bereinigung um Ausreißer durchschnittlich um 11 Prozentpunkte. Die Anzahl der effizienten Netzbetreiber verdoppelt sich von sechs auf zwölf Netzbetreiber. **Abbildung 33** zeigt den Effekt der Ausreißerbereinigung differenziert nach den Kostenbasen cTotexS (rote Säulen) und cTotexN (blaue Säulen). Insgesamt ergibt sich ein recht einheitliches Bild. Im Schnitt über alle Netzbetreiber sind die Werte bei cTotexS leicht besser (vgl. auch Tabelle 28). Mit ein Grund dürfte sein, dass der standardisierte Aufwandsparameter möglichen Verzerrungen aus unterschiedlichen Altersstrukturen besser Rechnung trägt.

Abbildung 33: Effizienzwerte nach Kostenbasen vor und nach Ausreißeranalyse



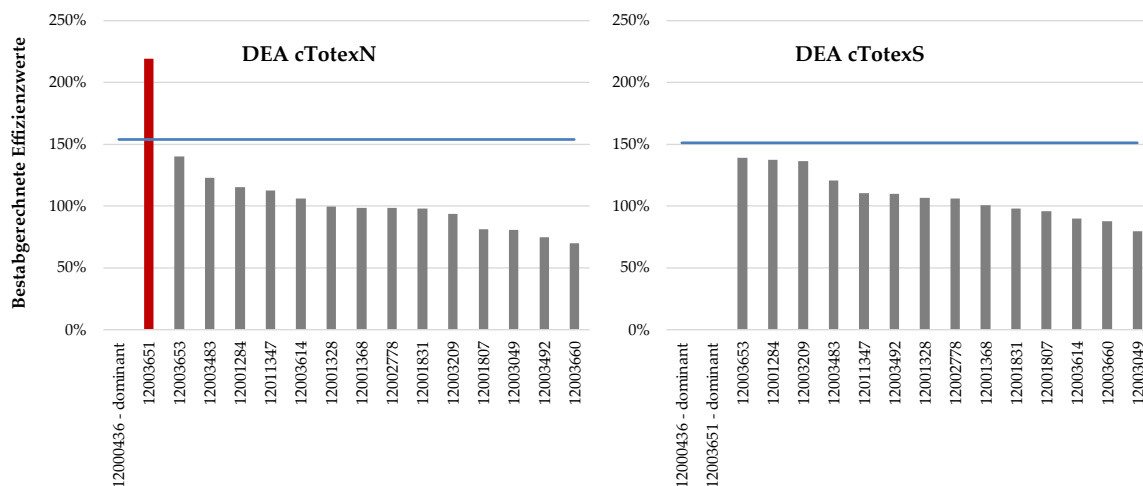
Quelle: Eigene Darstellung

Supereffizienz

Abbildung 34 stellt für cTotexS und cTotexN in blau die Schwellenwerte für die Supereffizienz-Analyse dar – mit 154 und 151 Prozent fast auf gleichem Niveau. Die gestützt hierauf identifizierten supereffizienten Unternehmen sind rot eingefärbt. Bei cTotexN liegt ein Unternehmen über dem Schwellenwert, wobei hier ein Netzbetreiber bereits als dominant identifiziert worden ist und bei der Berechnung des Schwellenwerts nicht mehr berücksichtigt wird. Bei cTotexS liegen alle Netzbetreiber unter dem Schwellenwert. Inklusive der beiden in der Dominanzanalyse als Ausreißer identifizierten Netzbetreibern liegen auch hier

insgesamt zwei Ausreißer vor. Ebenfalls ersichtlich ist, dass es sich jeweils um die gleichen Netzbetreiber handelt (12000436 und 12003651).

Abbildung 34: Verteilung Supereffizienzwerte



Quelle: Eigene Darstellung

5.5.6.2 Peer-Analyse

Bei der Peer-Analyse wird untersucht, welche Netzbetreiber für welche übrigen Netzbetreiber den Effizienzmaßstab darstellen, also als „Best Practice“ gelten.

Tabelle 29 zeigt das Ergebnis der Peer-Analyse für die Schätzung mit cTotexN (DEAIII, also die DEA nach Herausnahme der dominanten bzw. supereffizienten Unternehmen). Die jeweiligen Peers sind in den Spalten angegeben. Z. B. ist Netzbetreiber 12001284 für sich selbst das Peer-Unternehmen und weist also eine Effizienz von 100% auf, während der Effizienzmaßstab von Netzbetreiber 12001807 von den Netzbetreibern 12001284 und 12003209 gesetzt wird. Acht Unternehmen stellen ihr eigenes Peer dar, weisen also im Datensatz einzigartig gute Input-Output-Kombinationen auf. Netzbetreiber 12003209 ist am öftesten Peer mit einem Peercount von 6 (letzte Zeile), d. h. er fungiert fünfmal als Peer für andere Netzbetreiber.

Tabelle 29: Peer-Analyse DEAllI cTotexN

	12001284	12001328	12001368	12003209	12003483	12003614	12003653	12011347
12001284	1.00	-	-	-	-	-	-	-
12001328	-	1.00	-	-	-	-	-	-
12001368	-	-	1.00	-	-	-	-	-
12001807	0.46	-	-	0.54	-	-	-	-
12001831	-	0.22	-	0.11	-	0.03	-	0.64
12002778	-	0.37	0.27	-	-	0.07	0.29	-
12003049	0.04	-	-	0.40	-	-	0.56	-
12003209	-	-	-	1.00	-	-	-	-
12003483	-	-	-	-	1.00	-	-	-
12003492	-	-	-	0.53	0.47	-	-	-
12003614	-	-	-	-	-	1.00	-	-
12003653	-	-	-	-	-	-	1.00	-
12003660	-	-	-	0.12	0.84	-	-	0.04
12011347	-	-	-	-	-	-	-	1.00
Peercount	3	3	2	6	3	3	3	3

Quelle: Eigene Darstellung, Gewichte je Zeile normiert auf 1

Ein vergleichbares Muster lässt sich bei der cTotexS-Schätzung ausmachen, vgl. **Tabelle 30**. Erneut sind acht Netzbetreiber ihr eigenes Peer, und kein Netzbetreiber weist als Peer eine auffällige Dominanz auf viele andere Netzbetreiber aus. Der maximale Peercount liegt bei nur vier, was die Ausgewogenheit des Modells unterstreicht.

Insgesamt handelt es sich somit um ein in beiden Kostenbasen ausgewogenes Modell.

Tabelle 30: Peer-Analyse DEAllI cTotexS

	12001284	12001328	12001368	12002778	12003209	12003483	12003492	12003653	12011347
12001284	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
12001328	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
12001368	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-
12001807	0.46	-	-	-	0.54	-	-	-	-
12001831	-	0.27	-	-	0.02	-	0.10	-	0.61
12002778	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-
12003049	-	0.18	-	0.75	0.07	-	-	-	-
12003209	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-
12003483	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-
12003492	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-
12003614	0.59	-	-	0.06	-	0.35	-	-	-
12003653	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-
12003660	-	-	-	-	-	0.69	0.20	-	0.11
12011347	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
Peercount	3	3	1	3	4	3	3	1	3

Quelle: Eigene Darstellung, Gewichte je Zeile normiert auf 1

5.5.6.3 Second-Stage-Analyse

Wie in Abschnitt 5.5.1.6 erwähnt, macht es der kleine Stichprobenumfang schwierig, stichhaltige Second-Stage-Analysen durchzuführen. Dies wird erschwert dadurch, dass nur vier der 16 Beobachtungen Werte aufweisen, welche von 1 abweichen.

Dennoch wird in Anwendung des Vorsichtsprinzips überprüft, ob einer der nicht berücksichtigten Parameter aus Tabelle 34 die (limitierte) Variation der bestabgerechneten Effizienzwerte erklären kann. Hierfür werden einfache OLS Regressionen durchgeführt, bei denen versucht wird, die bestabgerechneten Effizienzwerte durch die einzelnen nicht berücksichtigten Vergleichsparameter zu erklären (Kruskal-Wallis-Test vorliegend nicht nötig, da keine ordinale Variablen). Dabei weisen keine nicht berücksichtigten Parameter einen signifikanten Einfluss auf.

Daraus kann gefolgert werden, dass das gewählte Modell nicht an Second-Stage-Problemen leidet und kein Grund besteht, entweder den bereits umfangreichen Bestand an Kostentreibern zu erweitern oder eine der vier Variablen zu ersetzen.

5.5.6.4 Kostenfunktion

In Anlehnung an Abschnitt 5.2 sollte dem gewählten Effizienzvergleichsmodell eine solide ökonomische Kostenfunktion zugrunde liegen.

Das gewählte Modell weist als Kostenfunktion gute statistische Eigenschaften auf:

- Das Vorzeichen der Schätzkoeffizienten der Parameter entspricht den Erwartungen und die Parameter sind robust in Bezug auf das Vorzeichen sowie deren Größenordnung.
- Bei beiden Kostenbasen liegen zwei Ausreißer in der Auffälligkeitsanalyse vor, was hinnehmbar ist und dem Ergebnis der DEA entspricht.
- Das Modell leidet weder an Heteroskedastizität noch liegen Anzeichen vor, dass die Residuen nicht normalverteilt wären.
- Bezüglich möglicher Multikollinearität springt der Belsley-Test nicht an und die VIF-Werte liegen durchwegs unter 10.
- Schiefe ist vorhanden und zeigt dabei nicht signifikant in die falsche Richtung.

Aus analytischer Sicht enthält das Modell einander ergänzende Kostentreiber, welche die wesentlichen Versorgungsdimensionen Kapazitätsbereitstellung (Rohrdurchmesser via Rohrvolumen, komplementär hierzu Verdichterleistung) und Dienstleistungsbereitstellung inkl. Komplexität und Granularität der Versorgungsaufgabe (Ausspeisepunkte, versorgte Fläche) umfassend abbilden.

Der hohe Informationsgehalt des Modells (BIC-Werte um 580) zeigt, dass die gewählten Parameter im Zusammenspiel die Heterogenität der Netzbetreiber sehr gut abzubilden vermögen, dass also die Kosten reiner Leitungsgesellschaften in vergleichbarer Güte wie die Kosten von Betreibern mit komplexeren Netztopologien erfasst werden.

6 Referenzen

- Agrell, P. J. and P. Niknazar, (2014) Structural and Behavioral Robustness in Applied Best-practice Regulation, Socio-Economic Planning Sciences.
- Aigner, D., C. A. K. Lovell, and P. Schmidt (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37.
- Banker, R.D. (1993). Maximum Likelihood, consistency and data envelopment analysis: a statistical foundation. *Management Science*, 39(10), 1265-1273.
- Banker, R.D. (1996), Hypothesis Tests Using Data Envelopment Analysis, *Journal of Productivity Analysis*, 7, 139-159
- Banker, R.D., Chang, H., & Cooper, W. W. (1996). Simulation studies of efficiency, returns to scale and misspecification with nonlinear functions in DEA. *Annals of Operations Research*, 66(4), 231-253.
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., Swarts, W., Thomas, D., (1989). An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. *Research in governmental and nonprofit accounting* 5 (1) 125-163.
- Banker, R.D., & Chang, H. (2006). The super-efficiency procedure for outlier identification, not ranking efficient units. *European journal of operational research*, 175(2), 1311-1320.
- Benford F. (1938). The Law of Anomalous Numbers. In: *Proceedings of the American Philosophical Society (Proc. Amer. Phil. Soc.)*, 551–572, Philadelphia.
- Björnsen Beratende Ingenieure (2021). Gutachten zur Erstellung gebietsstruktureller Daten. Methodendokumentation im Auftrag der Bundesnetzagentur.
- Bogetoft, P. (2012) *Performance Benchmarking – Measuring and Managing Performance*, Springer New York 2012.
- Bogetoft, P. and L. Otto (2011), *Benchmarking with DEA, SFA, and R*, Springer New York, 2011.
- Charnes, A., W. Cooper, and E. Rhodes (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Consentec (2010). Durchführung einer Kostentreiberanalyse für Effizienzvergleiche gem. § 22 ARegV für die überregionalen Fernleitungsnetzbetreiber Gas, insbesondere unter Verwendung analytischer Kostenmodelle.
- Consentec (2012). KTA - Durchführung einer Kostentreiberanalyse für Effizienzvergleiche gemäß § 22 ARegV für Gasfernleitungsnetzbetreiber insbesondere unter Verwendung analytischer Kostenmodelle.
- Filippini, M., P.J. Agrell, M. Farsi, M. Koller (2011). Messung der produktiven Effizienz in EVU – Eine Anwendung zur Anreizregulierung in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE). Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich.

- Frontier Economics / Consentec (2012). Anlage A.BM –Effizienzvergleich für Verteilernetzbetreiber Gas. Bericht im Auftrag der Bundesnetzagentur.
- Frontier Economics / Consentec (2013) Anlage A.BM Effizienzvergleich für Gasfernleitungsbetreiber. Bericht im Auftrag der Bundesnetzagentur.
- Knieps, G. (2009). „Sektorsymmetrische Regulierung in Netzsektoren: Ein Vergleich zwischen Gas und Elektrizität.“ Diskussionsbeitrag Institut für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik Nr. 126 – Juni 2009.
- NEP (2015). Netzentwicklungsplan Gas 2015.
- NEP (2016). Netzentwicklungsplan Gas 2016.
- Newcomb, S. (1881). Note on the Frequency of the Use of different Digits in Natural Numbers. In: American journal of mathematics (Amer. J. Math.), 39–40, Baltimore.
- Raab, R. L. and R. W. Lichty (2002) Identifying subareas that comprise a greater metropolitan area: The criterion of county relative efficiency. Journal of regional science 42.3 : 579-594.
- SUMICSID (2007). Development of Benchmarking models for Electricity and Gas DSOs.
- Swiss Economics (2014). Effizienzvergleich für Verteilernetzbetreiber Strom 2013 – Ergebnisdokumentation und Schlussbericht [EVS2]. Bericht im Auftrag der Bundesnetzagentur.
- Swiss Economics (2018). Kostentreiberanalyse und Effizienzvergleich der Gasfernleitungsbetreiber – Gutachten für die dritte Regulierungsperiode [EFG3]. Gutachten im Auftrag der Bundesnetzagentur.
- Swiss Economics (2019). Effizienzvergleich Verteilernetzbetreiber Strom der dritten Regulierungsperiode (EVS3). Gutachten im Auftrag der Bundesnetzagentur.

A Anhang Parameterdefinitionen und -berechnungen

Dieser Anhang erläutert die Berechnung ausgewählter Parameter aus den erhobenen Strukturdaten der Fernleitungsnetzbetreiber (FNB) im Rahmen des Effizienzvergleichs zur vierten Regulierungsperiode (RP4).

Anhang B umfasst die vollständige Liste der im Rahmen der Datenquittung den Netzbetreibern bereitgestellten Parameter.

A.1 Vorbereitungen im Datensatz

A.1.1 Aufbereitung der GIS-Daten

Umrechnung von Gauß-Krüger-Koordinaten zu UTM32-Koordinaten

Die Netzbetreiber konnten ihre Koordinaten in zwei unterschiedlichen Projektionen angeben (neun Netzbetreiber UTM Zone 32N, EPSG-Code 25832; sieben Netzbetreiber Gauß-Krüger-Zone 3, EPSG-Code 31467). Da jedes kartesische (rechtwinklige) Koordinatensystem zwangsläufig gewisse Verzerrungen aufweist, werden alle Koordinaten in ein einheitliches System umgerechnet, um sämtliche Netzbetreiber auf derselben Basis zu beurteilen. Hierzu werden Datenlieferungen im älteren Gauß-Krüger-Format in die neuere UTM32-Projektion überführt (EPSG-Code 25832), welche von der Mehrheit der Netzbetreiber verwendet wird.

Vereinigung georeferenzierter Daten im Erhebungsbogen mit gelieferten GIS-Daten

Die georeferenzierten Daten wurden von den Netzbetreibern grundsätzlich in den Erhebungsbögen angegeben, wobei die Netzbetreiber zusätzlich die Möglichkeit hatten, separate GIS-Daten z. B. in Form von Shapefiles zu liefern. Einzelne Netzbetreiber nutzten diese Möglichkeit.

In einem ersten Schritt werden die im Erhebungsbogen (EHB) mitgelieferten georeferenzierten Daten mittels Software R eingelesen. Eine Leitung wird jeweils durch einen Anfangs- und Endstandort beschrieben, wobei in der RP4 neu auch Stützpunkte dazwischen angegeben werden konnten, damit der genaue Leitungsverlauf auf einfachere Weise abgebildet werden kann. Die geographischen Daten zu Anfangs- und Endstandort inklusive etwaiger Stützpunkte wurden pro Leitung zusammengeführt und bilden den Leitungsverlauf ab. Die Shapefiles werden, sofern vorhanden, in einem zweiten Schritt verarbeitet. Diese Daten sind nach Leitungsabschnitten aufgelöst. Um die Daten für die spätere Analyse verwertbar zu machen, werden die Leitungsabschnitte je Leitung zusammengeführt. Gibt es geographische Daten aus dem EHB und separat gelieferten Daten bei einem Netzbetreiber, werden für die betroffenen Leitungen jeweils die Verläufe aus den Shapefiles verwendet. Das liegt daran, dass diese den Leitungsverlauf realitätsgetreuer abbilden. Somit ist im Datensatz anschließend nur eine Observation pro Leitung vorhanden, welche jedoch deren gesamten geografischen Verlauf beinhaltet.

A.1.2 Behandlung von Fremdnutzungsanteilen, Biogas und Investitionsmaßnahmen, Komplementierenden Punkten, Marktraumumstellung und Gaspool

Fremdnutzungsanteile

Die Netzbetreiber nutzen verschiedenste Anlagen gemeinsam (z. B. Leitungen, NKP/NAP, Verdichter) und waren angehalten, entsprechende Fremdnutzungsanteile anzugeben bzw. Angaben nur mit Bezug auf den eigenen Bedarf zu machen. Z. B. wurden die FNB darauf hingewiesen, bezüglich der Größe Jahresarbeit etwaig enthaltene Anteile von anderen FNB aus den eigenen Angaben herauszurechnen.

Fremdnutzungsanteile werden bei den einzelnen Parametern – wie nachfolgend in Abschnitt A.2 beschrieben – bereinigt. Dabei gelten folgende Grundsätze:

- Bei Parametern, welche v. a. die Transport- und Kapazitätsdimension zum Ausdruck bringen, wird – sofern nicht schon vom FNB durchgeführt – der Fremdnutzungsanteil zum Abzug gebracht, da diese fremdgenutzten Anteile erstens der eigenen Kundschaft i. d. R. nicht zur Verfügung stehen und zweitens auch entsprechend abgegolten sind. Der Rohrdurchmesser wird dabei zur Kapazitätsbereitstellung gezählt, da ein höherer Innendurchmesser c. p. eine höhere Kapazität ermöglicht.
- Für Parameter der Dienstleistungsdimension, z. B. Anzahl Anschlusspunkte, Fläche oder Leitungskilometer, erfolgt keine Korrektur, da die Dienstleistung gegenüber der Kundschaft durch die Fremdnutzung i. d. R. nicht eingeschränkt ist.

Rohrvolumen als Multiplikation von Rohrinne Durchmesser und Leitungsabschnittslänge wird damit implizit via Anpassung des Rohrinne Durchmessers korrigiert, Analoges gilt für die Rohrmantelfläche, wobei hier zwei Varianten der Korrektur möglich sind (vgl. Vorschlag eines Netzbetreibers in Abschnitt 3.1.5 und nachfolgend die konkrete Bildung in A.2.1).

Biogas und Investitionsmaßnahmen

Die Kosten im Zusammenhang mit Biogas und Investitionsmaßnahmen sind bereits anderweitig geprüft und genehmigt, so dass sie im Rahmen eines Effizienzvergleichs zu den nicht (mehr) beeinflussbaren Kosten zählen und zur Vermeidung einer Doppelprüfung nicht in die dem Effizienzvergleich zugrunde gelegten Aufwandsparameter eingehen. Konsequenterweise muss dies auch auf der Seite der Vergleichsparameter berücksichtigt werden. Die Datengrundlage der untersuchten Parameter wird daher vor der weiteren Verwendung gemäß Abschnitt A.2 in der nachfolgend beschriebenen Weise bereinigt:

- Bei den Nicht-GIS-basierten Parametern der Kategorien Kapazitäts- und Dienstleistungsbereitstellung werden Punkte und Leitungen aus Biogas- und Investitionsmaßnahmen nicht berücksichtigt, da diese Kostenbestandteile vollständig anrechenbar sind und somit nicht in den Effizienzvergleich einfließen.
- Anders werden die GIS-basierten Parameter behandelt (Fläche, TM, TWM, Verzweigungen, Maschen). Für diese Parameter wird die Versorgungsaufgabe möglichst vollständig

abgebildet, da bei diesen GIS-basierten Parametern die Versorgungs- und Transportaufgabe erfasst werden soll, die sich aus der Kombination der verschiedenen Ein- und Ausspeisepunkte ergibt. Z. B. stehen beim Transportmoment die sich ergebenden Flüsse zwischen Ein- und Ausspeisungen im Vordergrund, und als solches die Herausforderungen im Röhrensystem, um die Kombination von Ein- und Ausspeisungen zu jedem Zeitpunkt bewältigen zu können. Um diese Aspekte der Versorgungsaufgabe abzubilden, werden für diese Parameter Einspeisungen aus Biogas und Investitionsmaßnahmen grundsätzlich berücksichtigt, jedoch beim TWM in einem zusätzlichen Schritt der ermittelte notwendige Leitungsdurchmesser von Biogas(anschluss)leitungen und Leitungen mit Investitionsmaßnahmen auf Null gesetzt. So wird zum Ausdruck gebracht, dass diese Anschlussleitungen schon anderweitig finanziert sind, sie aber gleichwohl zu einer Transportaufgabe im übrigen Leitungssystem mit entsprechend Benchmark-relevanten Kosten führen.

- Bei Parametern der Transportdimension ist der operative Transportaufwand – z. B. von den Biogas-Einspeisepunkten zu den jeweiligen Ausspeisepunkten – nicht abgegolten. Zur näherungsweisen Berücksichtigung erfolgt daher für diese Berechnung ebenfalls keine Bereinigung der anderweitig genehmigten/geprüften Infrastruktur.

Teilnetzbildung und Komplettierende Punkte

Für die Bildung ausgewählter Parameter werden durch eigene Leitungsabschnitte zusammenhängende Netzelemente (Knoten, NKP/NAP, Druckregler/Verdichter, Leitungsabschnitte, Stützpunkte) gleicher Gasqualität identifiziert.⁶⁸ Für diese Parameter wird ein Teilnetz nur dann gezählt, wenn es vollständig ist in dem Sinne, dass es über mindestens je einen (i) Einspeise- und (ii) Ausspeisepunkt verfügt, die an (iii) unterschiedlichen Standorten liegen und (iv) durch Leitungen verbunden sind. Ansonsten kann keine Gasversorgung erfolgen („vollständiges Teilnetz“).

Wegen spezieller Leitungskonstellationen können allerdings unvollständige Teilnetze entstehen, welche eigentlich angebunden sind.⁶⁹ Den Netzbetreibern wurde daher die Möglichkeit gegeben, **Komplettierende Punkte** anzugeben. Drei FNB haben hiervon Gebrauch gemacht. Komplettierende Punkte werden bei der Bildung der GIS-basierten Parameter berücksichtigt, für die die Vollständigkeit von Teilnetzen vorausgesetzt wurde (z. B. nachfolgend yArea, aber nicht yArea_all). Bei der Beurteilung der Validität der Teilnetze werden Punkte aus Biogas- und Investitionsmaßnahmen ebenfalls berücksichtigt (vgl. oben).

⁶⁸ Ein Netzbetreiber, der zwei Gasqualitäten transportiert, hat somit mindestens zwei Teilnetze.

⁶⁹ Z. B. wenn ein Netzbetreiber zur Versorgung eines Netzabschnittes ohne Einspeisepunkt unentgeltlich von einem anderen Netzbetreiber einen einzelnen Leitungsabschnitt nutzen darf und ein Übergangspunkt zwischen den beiden Netzbetreibern nicht existiert bzw. nicht gemessen wird. In diesem Fall wäre der betroffene Netzabschnitt – obwohl versorgt – kein vollständiges Teilnetz, da der Abschnitt in den Angaben des Netzbetreibers über keine Leitungsverbindung zum Hauptnetz verfügt.

Bei den übrigen Parametern, die aus den Angaben der einzelnen NKP/NAP ermittelt werden, finden die komplettierenden Punkte keine Berücksichtigung, soweit es sich um Doppelungen handelt. Dies bedeutet, dass die komplettierenden Punkte bei der Anzahl Ein- und Ausspeisepunkte nicht berücksichtigt werden. Bei der Jahresarbeit und Jahreshöchstlast werden die betreffenden Mengen dann nicht verwendet, wenn es sich um Doppelungen handelt. Letzteres war bei einem FNB der Fall.

Marktraumumstellung (MRU)

Im Basisjahr waren vier Netzbetreiber von der Marktraumumstellung betroffen, d. h. gewisse Leitungen und Anschlüsse wurden während dem Jahr von L- auf H-Gas umgestellt. In den vorwiegenden Fällen wurden dabei Leitungen und Leitungsabschnitte inkl. angebundener Punkte umgestellt. In wenigen Fällen wurden Netzpunkte an parallel verlaufenden L- und H-Gas-Leitungen von der einen in die andere Gasart eingebunden. Es handelt sich somit jeweils um die gleichen Leitungen und Anschlüsse, d. h. es wurden i. d. R. für die MRU keine neuen Leitungen gebaut. Die Kosten der Umstellung (i. d. R. OPEX) sind anderweitig finanziert und nicht Teil der Aufwandsparameter, die für den Effizienzvergleich maßgebend sind.

Die Netzbetreiber waren angehalten, ihre MRU Punkte doppelt anzugeben, jeweils einmal mit Zusatz „MRUneuH“ für Mengen, die im H-Gas angefallen sind sowie ohne Zusatz für Mengen, die im L-Gas geliefert wurden. Mit Blick auf die Vollständigkeit von Teilnetzen wurden Leitungsabschnitte im Erhebungsbogen ebenfalls doppelt erfasst mit analoger Kennzeichnung.

Vor dem Hintergrund wird bei der Parameterbildung wie folgt vorgegangen:

- Für jedes MRUneuH-Asset wird das Komplement im L-Gas identifiziert;
- Bei Rohrgeometrie und Anschlüssen wird jeweils nur der H-Teil gezählt, d. h. Leitungen und Punkte ohne MRUneuH-Zusatz werden nicht gezählt;
- Mengen:
 - Bei Jahresarbeit werden L- und H-Gas- Werte berücksichtigt, da dieses Gas von den Netzbetreibern geliefert worden ist.
 - Bei der Jahreshöchstlast an Netzpunkten wird jeweils der höhere Wert von L- und H-Gas berücksichtigt, da dieser als höchster Wert im Lauf des Basisjahrs bereitgestellt werden musste.
 - Bei Transportmoment/Transportwurzelmoment werden die *Leitungsabschnitte* mit Blick auf die Vollständigkeit von Teilnetzen zunächst in beiden Gasqualitäten berücksichtigt. Für die *Mengen an Anschlüssen* wird analog wie oben unter „Mengen“ vorgegangen, d. h. ein Punkt wird beim Transportmoment Arbeit berücksichtigt, sofern in der betreffenden Gasqualität auch geliefert worden ist. Beim Transportmoment Leistung wird ein Anschlusspunkt jeweils nur bei der Gasqualität mit höherem Wert berücksichtigt (bzw. der Wert bei der Gasqualität mit tieferem Wert auf Null gesetzt). So ist sichergestellt, dass es Gasqualitäts-übergreifend keine Doppelberücksichtigung von Leistungsflüssen

bzw. Leitungsdurchmessern beim TWM erfolgt, gleichzeitig aber die Transportaufgabe im L-Gas vor der Marktraumumstellung berücksichtigt ist, so diese umfassender war als nachfolgend im H-Gas (z. B. weil die Höchstlast i. d. R. im ersten Quartal vorliegt).

- Für die Polygonfläche wird bei umgestellten Leitungen und Punkten nur die Qualität im H-Gas berücksichtigt, um eine Doppelung zu vermeiden. Hier wird der Standardfall, nämlich der Netzzustand am 31.12. des Basisjahres, verwendet.

Gaspool-Mengen (GP)

Die OGE war im Basisjahr als einziger FNB in zwei Marktgebieten tätig und somit mit getrennten Versorgungsaufgaben. OGE war deshalb von der BNetzA angehalten, ihre dem Marktgebiet Gaspool zugehörigen Leitungsabschnitte und Punkte doppelt anzugeben, jeweils einmal mit Zusatz „GP“ für Leitungen und Punkte, die Gaspool zugehören, sowie ohne Zusatz für Leitungen und Punkte, die nicht zu Gaspool gehören.

Bei diesen Punkten und Leitungsabschnitten wurde mit Blick auf die Parameterbildung wie folgt vorgegangen:

- Bei Jahresarbeit und Jahreshöchstlast keine Korrektur, d. h. Berücksichtigung wie gemeldet;
- Rohrgeometrie (Volumen, Mantelfläche): Keine Korrektur, da diese bereits über die Angabe in den Fremdnutzungsanteilen erfolgt ist;
- TM/TWM: Mit den GP-Leitungen und Punkten wird ein separates Teilnetz gebildet, welches in die TM/TWM-Bildung einfließt⁷⁰;
- Bei Parametern der Versorgungsdimension Dienstleistung (Leitungslänge, Anzahl Exits und Entries, Fläche⁷¹) werden die GP-Punkte nicht berücksichtigt, da diese doppelt gemeldet wurden, aber nur einmal gezählt werden.

A.1.3 Datengrundlage für Arbeit- und Lastangaben

Verwendung von Normkubikmeter-Angaben

Arbeit- und stündliche Lastangaben liegen i. d. R. sowohl als Normkubikmeter (m_n^3) als auch in Form von Energiegehalt (MWh) vor.

Erdgas wird im Wesentlichen zum Heizen und Kochen, in der chemischen Industrie, zur Stromerzeugung und z. T. auch als Treibstoff verwendet. In all diesen Anwendungen besteht der Wert der gelieferten Gasmenge aus seinem Energieinhalt. Auf Lieferantenseite werden jedoch unterschiedliche Gasqualitäten angeboten und vermarktet, die sich in ihrem Energieinhalt unterscheiden und in separaten Gasnetzen transportiert werden müssen (L-

⁷⁰ Die Standorte der Leitungen sowie Ein- und Ausspeisepunkten des Marktgebiets Gaspool wurden von der OGE mit dem Zusatz „GP“ versehen. Derart gekennzeichnet konnte es als separates Teilnetz identifiziert werden.

⁷¹ Bei der Fläche wird das GP-Teilnetz vollständig vom grösseren Hauptnetz der OGE überlappt.

Gas / H-Gas). Grundsätzlich ist zu beachten, dass aus Sicht eines Netzbetreibers der Aufwand nicht durch die transportierte Energie, sondern durch die zu transportierende Gasmenge bestimmt wird. Insofern sollte idealerweise die Netzbelastung in Normkubikmetern angegeben werden. Aufgrund der für jedes Marktgebiet weitgehend festen Verhältnisse von Energiemenge je Normkubikmeter und der Unempfindlichkeit der Effizienzanalyse ggü. Normierungen können die Abweichungen vernachlässigt werden, die sich durch die Verwendung der Energiemengen ergeben.

Bei der Parameterbildung wird daher jeweils der Normkubikmeter-Wert verwendet.

Datengrundlage bei Bruchteilseigentum

Leitungsbau erfolgt heute i. d. R. durch das Konstrukt der Bruchteilsgemeinschaft (BTG). Hierbei investiert, baut und betreibt nicht ein FNB eine neue Leitung. Vielmehr erwerben mehrere FNB Leitungs- und Netzpunktanteile, welche individuell vermarktet werden. Trotz dieser Entwicklung besteht das deutsche Ferngasnetz noch immer zu einem hohen Teil bzw. je nach Betrachtungskriterium zu einem größeren Teil aus Nicht-BTG-Punkten bzw. -Leitungen.

Um die Vergleichbarkeit von BTG- und Nicht-BTG-Netzteilen zu gewährleisten, machte die Bundesnetzagentur im Laufe des Plausibilisierungsprozesses den FNB Vorgaben zur Ermittlung der Jahresarbeit sowie der zeitgleichen und zeitungleichen Jahreshöchstlasten. Diese Vorgaben waren notwendig geworden, nachdem durch die Datenprüfungen deutlich wurde, dass durch die FNB verschiedene Bildungslogiken angewendet wurden, welche Nicht-BTG-Netzteile benachteiligte.

Bei Netzpunkten an Bruchteilsgemeinschaften und Leitungsgesellschaften liegen in der Regel keine scharfen Messwerte nach Netzbetreiber für die geflossenen Gasmengen vor. Die FNB teilten im Fall von BTG-Netzteilen diese teilweise anhand eines abgeleiteten Schlüssels (z. B. aufgrund des BTG-Anteils oder aus den individuellen Nominierungen bzw. Allokationen) auf. Durch ungleiche Nutzung der Netzteile innerhalb des Basisjahres konnten so eigenen Meldungen insbesondere der Jahreshöchstlasten optimiert werden. Die Summe der einzelnen Jahreshöchstlasten der BTG-Partner war auf diese Weise größer als der höchste Gesamtwert des gemessenen Lastgangs.

Diese Optimierungsmöglichkeit steht bei Nicht-BTG-Netzteilen nicht zur Verfügung, was einen Vergleich daraus abgeleiteter Werte erschwert. Sollten unterjährig die Anteile von BTG-Partnern für den eigenen Transport zusätzlich genutzt worden sein, so wären diese Mengen i. d. R. eher bei den überlassenden BTG-Partnern zu melden, analog zu der Nutzung fremder Leitungen für den Transport.

Die Bundesnetzagentur hat daher folgende Bildungslogik für BTG-Punkte festgelegt:

- **Qjahr:** Die gemeldete Jahresarbeit an BTG-Punkten darf in Summe nicht größer sein als der dort im Basisjahr gemessene Wert der Jahresarbeit, d. h. die einzelnen Anteile addieren sich zu 100% der gemessenen Jahresmenge.

- **Qsim:** Pro BTG-Punkt sind zeitgleich nur ein und derselbe Aufteilungsschlüssel von allen beteiligten BTG-Partnern anzuwenden. Sollte sich im Basisjahr die Grundlage des Schlüssels geändert haben (z. B. durch eine unterjährige VIP-Bildung) und anschließend ein anderer Schlüssel angewendet worden sein, um den Gasfluss weiterhin möglichst realitätsgetreu abbilden zu können, konnte anschließend auch dieser andere Schlüssel einheitlich von allen Parteien verwendet werden.
- Die zeitgleiche Jahreshöchstlast pro FNB ergibt sich zu der Stunde, in der pro FNB über alle Ein- oder Ausspeisepunkte die Summe der gemessenen/ermittelten ein- oder ausgespeisten Lasten am höchsten war. Dabei darf bei BTG-Punkten die Summe der individuellen FNB-Höchstlasten nicht größer sein als der dort im Basisjahr gemessene höchste Gesamtwert des Punktes. Sofern die Summe höher war, sind die individuellen FNB-Werte zu kürzen (z. B. proportional).
- **Qmax:** Die zeitungleiche Jahreshöchstlast pro BTG-Punkt ist zunächst anhand des gemessenen (100%-)Lastgangs zu ermitteln. Erst dann werden diese Werte auf die einzelnen BTG-Partner aufgeteilt.

Ein anzuwendender Aufteilungsschlüssel wurde dagegen nicht von der Bundesnetzagentur vorgegeben. Hier wurde eine entsprechende Expertise bei den FNB vorausgesetzt.

Diese Bildungsvorgabe unterscheidet sich von der aus der dritten Regulierungsperiode. Die Bundesnetzagentur sieht hierin jedoch eine bessere Vergleichbarkeit der Netzdaten insgesamt.

Behandlung nicht regulierter Anteile

Eine weitere Frage betrifft nicht regulierte Anteile der Ostsee-Pipeline-Anbindungsleitung (OPAL). Diese Leitung nimmt eine Sonderstellung im deutschen Fernleitungssystem ein, da neben einem regulierten auch ein nichtregulierter Teil besteht. Es wurden im Verfahren zur RP3 zwei Varianten der Behandlung geprüft: Erstens die Nicht-Berücksichtigung regulierter Kostenanteile und eine entsprechende Anpassung von Vergleichsparametern soweit möglich, wobei allerdings wesentliche Parameter wie Leitungslängen unverändert bleiben. In einer zweiten Variante gehen in den Effizienzvergleich auch nicht regulierte Anteile ein, mit entsprechenden durchwegs kohärenten Aufwands- und Vergleichsparametern, der Effizienzwert wird später jedoch nur auf regulierte Kostenanteile angewendet. Aufgrund konzeptioneller Überlegungen und umfangreicher Auffälligkeits- und Ausreißeranalysen mit einer resultierenden starken Auffälligkeit und Dominanz der betroffenen Netzbetreiber in Variante 1 wurden zur RP3 die Daten gemäß Variante 2 verwendet. Dies soll auch im Verfahren zur RP4 fortgeführt werden.

A.2 Parameterdefinitionen

A.2.1 Rohrgeometrie: Rohrleitungslängen, -volumen und -mantelfläche

Zur Bestimmung der **Leitungslänge** und des **Rohrleitungsvolumens** werden die Angaben der Netzbetreiber der einzelnen Leitungsabschnitte verwendet (bereinigt um Biogas, Investitionsmaßnahmen und MRU sowie GP⁷²). Bestehende Fremdnutzungsanteile werden (direkt anhand der Angaben der Netzbetreiber) beim Rohrvolumen herausgerechnet, nicht aber bei Leitungslängen (vgl. auch Abschnitt A.1.2).

Die **Rohrleitungsmantelfläche** der Leitung wird erneut als geometrisch definierte Zylinderoberfläche berechnet.

Zur Berechnung werden analog zur RP3 die Angaben der Netzbetreiber „Netzlänge der Leitung in km“ l sowie das „Rohrvolumen (Raumvolumen) der Leitung in m³“ v bereinigt um Fremdnutzungsanteile FA je Leitungsabschnitt i verwendet, wobei folgende Formel zur Anwendung kommt:

$$yPipe_surface = \sum_i \left(\pi \cdot l_i \cdot 1000 \cdot \sqrt{\frac{v_i(1 - FA_i) \cdot 4}{\pi \cdot l_i \cdot 1000}} \right)$$

Innendurchmesser um
Fremdnutzungsanteile
bereinigt

Da zur Berechnung des in der Formel verwendeten Volumens der Innendurchmesser verwendet wird, handelt es sich streng genommen um die *Rohrleitungssinnenmantelfläche*. Die Länge [km] wird mit dem Faktor 1000 multipliziert, da das Rohrvolumen die Einheit m³ hat und das Endergebnis in m² angegeben wird.

Neu wird auch eine Version der Mantelfläche als anteilige Mantelfläche der gemeinsam benutzten Rohrleitung berechnet. Hierzu wird zunächst der Innendurchmesser des Leitungsabschnitts berechnet ohne Korrektur um Fremdnutzungsanteile. Von der Mantelfläche des Leitungsabschnitts wird anschließend der Fremdnutzungsanteil FA_i abgezogen.

$$yPipe_surface_input = \sum_i \left(\pi \cdot l_i \cdot 1000 \cdot \sqrt{\frac{v_i \cdot 4}{\pi \cdot l_i \cdot 1000}} \cdot (1 - FA_i) \right)$$

Innendurchmesser
der Leitung wie verbaut

Die erste Version der Rohrmantelfläche spiegelt die Versorgungsaufgabe wider, die vom einzelnen Netzbetreiber mit der Leitung geleistet werden kann analog dem Rohrvolumen

⁷² Nichtberücksichtigung der GP-Leitungsabschnitte nur bei Leitungslänge, da die FNB angehalten waren, diesbezüglich das Rohrvolumen über die Fremdnutzungsanteile zu korrigieren.

(„outputorientiert“). Die neue Version entspricht demgegenüber der anteilig verlegten Mantelfläche („inputorientiert“).

A.2.2 Jahresarbeit (Q_{jahr} inkl. Unterscheidung vertikal/horizontal)

Jahresarbeit

Für die Jahresarbeit (Q_{jahr}) werden die Angaben der Netzbetreiber für Ein- bzw. Ausspeisungen je Gasqualität an den einzelnen NKP/NAP grundsätzlich ohne Korrektur addiert⁷³:

$$yEnergy_{\text{injected}} = \sum_n Q_{\text{jahrEinsp},n}$$

$$yEnergy_{\text{delivered}} = \sum_n Q_{\text{jahrAusp},n}$$

Vertikaler und horizontaler Transport

Wie in der RP3 sollen auch Parameter gebildet werden, welche diejenige Gasmenge charakterisieren, die von Netzbetreibern rein zu (nationalen oder internationalen) Transitzielen horizontal durch ihre Fernleitungsnetze befördert wird bzw. umgekehrt vertikal zur Belieferung von nachgelagerten Verteilernetzbetreibern und Endkunden.

Hierzu können die Angaben der FNB zur Art der NKP/NAP genutzt werden. Diese ermöglichen die Aufteilung in horizontalen Fluss ($Exit_{\text{NKP FNB}}$, $Exit_{\text{GÜP}}$, $Exit_{\text{MÜP}}$, $Exit_{\text{Speicher}}$) und in vertikalen Fluss ($Exit_{\text{NKP VNB}}$, $Exit_{\text{Letztverbraucher}}$).

Für eine geeignete Operationalisierung in der DEA werden die absoluten Mengen an horizontalem bzw. vertikalem Transport von Q_{jahr} herangezogen in m^3 :

$$yEnergy_{\text{delivered_vertical}} = \sum_n Q_{\text{jahrAusp},n ; n \in \{Exit_{\text{NKP VNB}}, Exit_{\text{Letztverbraucher}}\}}$$

$$yEnergy_{\text{delivered_horizontal}} = \sum_n Q_{\text{jahrAusp},n ; n \in \{Exit_{\text{NKP FNB}}, Exit_{\text{GÜP}}, Exit_{\text{MÜP}}, Exit_{\text{Speicher}}\}}$$

A.2.3 Jahreshöchstlast (Q_{max} inkl. Unterscheidung vertikal/horizontal, Q_{sim})

Für die Jahreshöchstlast werden wie in der RP2 und der RP3 jeweils ein zeitungleicher und ein zeitgleicher Wert berechnet.

Q_{max}

Die **zeitungleiche Jahreshöchstlast** errechnet sich als Summe der maximalen stündlichen Ein- bzw. Ausspeisemengen (Q_{simEinsp} bzw. Q_{simAusp}) je NKP/NAP n , wobei Punkte für Investitionsmaßnahmen und Biogas sowie ggf. komplementierende Punkte nicht gezählt

⁷³ Ausnahmen können sich bei komplettierenden Punkten ergeben, vgl. hierzu Abschnitt A.1.2.

werden. Bei MRU-Punkten wird jeweils nur das Maximum je Punkt in der entsprechenden Gasqualität zugerechnet:

$$yPeakload_injec_Qmax [m^3/h] = \sum_n Q_{maxEinsp,n}$$

$$yPeakload_deliv_Qmax [m^3/h] = \sum_n Q_{maxAussp,n}$$

Die zeitungleiche Jahreshöchstlast entspricht so der im Basisjahr anhand der Q_{max} -Daten maximalen denkbaren Last im Netz und sollte grundsätzlich entsprechend höher liegen als die zeitgleichen Angaben der Netzbetreiber. Bei BTG-Punkten war die Jahreshöchstlast pro BTG-Punkt zunächst dem jeweiligen Gesamtlastgang zu entnehmen und dann unter den BTG-Partnern aufzuteilen.

Qsim

Die **zeitgleiche Jahreshöchstlast** errechnet sich als höchster zeitgleicher Summenwert der stündlichen Ein- bzw. Ausspeisemengen ($Q_{simEinsp}$ bzw. $Q_{simAussp}$) je NKP/NAP n mit analogen Korrekturen wie bei Q_{max} :

$$yPeakload_injec_Qsim [m^3/h] = \sum_n Q_{simEinsp,n}$$

$$yPeakload_deliv_Qsim [m^3/h] = \sum_n Q_{simAussp,n}$$

An BTG- Punkten kann es dabei vorkommen, dass die Stunden der FNB-scharfen zeitgleichen Jahreshöchstlasten zeitlich auseinanderfallen. Dabei dürfen die summierten zeitgleichen Jahreshöchstlasten der einzelnen BTG-Partner dennoch nicht höher sein, als der höchste Stundenwert des Gesamtlastgangs. Die betroffenen FNB waren in diesen Fällen von der BNetzA aufgefordert, diese Vorgabe einzuhalten.

Vertikale und horizontale Last

Gestützt auf oben angeführten Überlegungen zum horizontalen bzw. vertikalen Transport werden analoge Parameter unter Verwendung der Q_{max} -Mengen an Ausspeisepunkten gebildet:

$$yPeakload_deliv_Qmax_vertical = \sum_n Q_{maxAussp,n ; n \in \{Exit_{NKP VNB}, Exit_{Letztverbraucher}\}}$$

$$yPeakload_deliv_Qmax_horizontal$$

$$= \sum_n Q_{maxAussp,n ; n \in \{Exit_{NKP FNB}, Exit_{GUP}, Exit_{MUP}, Exit_{Speicher}\}}$$

A.2.4 Anschlüsse: Ein- und Ausspeisepunkte

Zur Berechnung der Anzahl NKP/NAP werden die Angaben der FNB wie folgt verarbeitet, wobei die Gasqualitäten nicht differenziert und Fremdnutzungsanteile nicht korrigiert werden (es gibt also keine „halben“ Punkte):

- Einspeisepunkte ohne Einspeisung bzw. Ausspeisepunkte ohne Ausspeisung werden nicht korrigiert und somit berücksichtigt (im Sinne von Kapazitätsbereitstellung).
- Punkte aus Biogas- oder Investitionsmaßnahmen sowie komplettierende Punkte werden nicht gezählt;
- Da die MRU- und GP-Punkte doppelt hinterlegt sind, werden diese nur einfach gezählt bzw. umgestellte L-Punkte sowie GP-Punkte abgezogen.

Hinsichtlich Fremdnutzungsanteilen sind bei den NKP/NAP-Angaben generell keine Korrekturen notwendig. Das heißt, dass die Angaben sich auf den einzelnen Netzbetreiber beziehen und Jahresarbeit und Jahreshöchstlast somit punktscharf angegeben sind.

Die FNB waren angehalten, mehrere Punkte mit derselben Flussrichtung und Punktfunktion am gleichen Standort zu nennen, sofern auch eine mehrfache Infrastruktur vorhanden war.

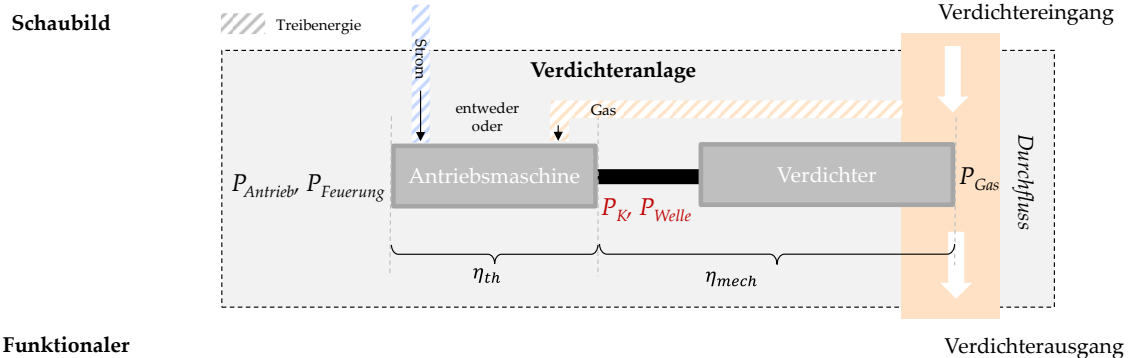
A.2.5 Verdichter und Druckregler

Verdichter

Bei der Bildung der drei Verdichterparameter (Anzahl, Leistung, Treibenergie) konnten die neu vorliegenden granularen Angaben der Netzbetreiber gemäß den Strukturdaten II je Gasqualität zugrunde gelegt werden, wobei um Fremdnutzungsanteile sowie Biogas- und Investitionsmaßnahmen bereinigt wurde. Die BNetzA ist dabei auf Anregungen der FNB eingegangen, wonach von den vertraglichen Fremdnutzungsanteilen abgewichen werden kann.

Die Definition der Verdichterleistung, die in der RP3 von den FNB teils unterschiedlich ausgelegt worden war, ist in Abbildung 35 dargestellt, d. h. es ist die Wellenleistung maßgebend.

Abbildung 35: Definition Verdichterleistung



Funktionaler Zusammenhang*

$$P_{\text{Antrieb/Feuerung}} \cdot \eta_{th} = P_{K/Welle} \quad P_{K/Welle} \cdot \eta_{mech} = P_{\text{Gas}}$$

$P_{\text{Antrieb}}, P_{\text{Feuerung}}$:	Antriebs- oder Feuerungswärmeleistung (durch die Antriebsmaschine aufgenommene Leistung)
P_K, P_{Welle} :	Kuppelleistung oder Wellenleistung (aufzubringende Verdichterantriebsleistung)
P_{Gas} :	Innere Leistung (an das Gas übertragende Leistung)
η_{th} :	Thermischer Wirkungsgrad (Wirkungsgrad der Antriebsmaschine)
η_{mech} :	Mechanischer Wirkungsgrad (Mechanische Verluste der Welle und des Verdichters)

*In Anlehnung an Mischner, Fasold, Heymer (2011).
gas2energy.net: Systemplanerische Grundlagen der Gasversorgung. Oldenbourg Industrieverlag.

Von FNB zu liefern: **Bemessung der Wellenleistung**

Quelle: Eigene Darstellung

Druckregler

Neben den drei Verdichterparametern werden in der RP4 auch zwei Parameter gebildet, welche die Druckregler abbilden sollen (Anzahl, Nenndurchfluss). Entsprechende Informationen liegen neu ebenfalls granular vor. Analog zu den Verdichterparametern erfolgen Bereinigungen um Biogas- und Investitionsmaßnahmen. Fremdnutzungsanteile werden beim Nenndurchfluss herausgerechnet.

A.2.6 Fläche

Polygonfläche

Die Polygonfläche entspricht der Fläche, die durch die konvexe Hülle aller einem Netz zugehörigen Standorte am Ende des Basisjahres (d. h. Zustand nach Marktraumumstellung) aufgespannt wird. Das Gaspool-Teilnetz wird nicht berücksichtigt, da diese Fläche schon anderweitig aufgespannt wird. Dabei wird wie in der RP2 und RP3 nach Gasqualität unterschieden. Die Polygonfläche für das gesamte Netz ergibt sich durch Addition der Flächen von H- und L-Gas.

Es werden verschiedene Varianten berechnet.

- In einer ersten Variante (**yArea**) werden je Gasqualität die Flächen der vollständigen Teilnetze im Sinn von Abschnitt A.1.2 gebildet und addiert, wobei überlappende Flächenabschnitte nur einmal gezählt werden (geometrische Vereinigung aller Teilnetze je Gasqualität). Es handelt sich um die Fläche, die gemäß den Angaben der Netzbetreiber physikalisch beliefert werden kann.

- In einer zweiten Variante (**yArea_all**) wird die konvexe Hülle je Gasqualität um alle vom Netzbetreiber gemeldeten NKP/NAP und Leitungsverläufe gelegt, unabhängig davon, ob die verschiedenen Punkte auch gemäß den Daten der Netzbetreiber miteinander verbunden sind. Komplettierende Punkte werden hier nicht berücksichtigt.
- In einer dritten, neuen Variante (**yArea_vertical**) werden bei der Flächenbildung lediglich Exitpunkte „in die Fläche“ an nachgelagerte Verteilernetze und Endkunden (innerhalb Deutschlands) berücksichtigt ($\text{Exit}_{\text{NKP/VNB}}$, $\text{Exit}_{\text{Letztverbraucher}}$). Die Bildung erfolgt teilnetzscharf analog zu yArea, jedoch ohne Berücksichtigung von Leitungsverläufen.

A.2.7 Transportmoment

Das Transportmoment wurde aus den früheren Regulierungsperioden übernommen und „ist eine Rechengröße, die in logistischen Systemen als Kenngröße und als Zielgröße für Optimierungen verwendet wird. Für den Gasfernleitungstransport ist das Transportmoment als ein exogener Kostentreiber für die Beschreibung der Netzaufgabe geeignet“ (CONSENTEC, 2012). Beim Transportmoment werden die zu transportierenden Mengen je Zeiteinheit so von allen Ein- auf alle Ausspeisepunkte verteilt, dass das Gas auf möglichst kurzem Weg zirkuliert. Das Transportmoment selbst ergibt sich durch Multiplikation bzw. Gewichtung aller berechneten Mengenflüsse je Zeiteinheit mit der jeweiligen zurückzulegenden Distanz und sagt somit aus, wie viele Kubikmeter Gas durch wie viele Leitungsmeter fließen, um die Versorgungsaufgabe zu erfüllen.

Grundsätzliche Bildung des Transportmoments

Das Transportmoment wird analog zur Polygonfläche je Gasqualität separat gebildet. Ebenfalls werden Varianten gerechnet, bei denen vollständige Teilnetze ausgewertet werden, womit je Gasqualität weitere Teilnetze entstehen können. Das Transportmoment berechnet sich grundsätzlich durch Multiplikation von **Durchfluss** und **Transportentfernung (Distanz)** in einem Netz.

Für die Berechnung des Transportmoments müssen je Teilnetz die Summen der Ein- und Ausspeisemengen der Einspeise- bzw. Ausspeisepunkte identisch sein. Da dies in den Daten nicht notwendigerweise gegeben sein muss, wird jeweils auf das Maximum der Summe aller Ein- oder Ausspeisemengen skaliert („Durchfluss“).

Konkret werden je Teilnetz t die Ein- bzw. Ausspeisemengen der dem Teilnetz zugehörigen NKP/NAP n wie folgt skaliert⁷⁴:

Falls $\sum_n \text{Einspeisung}_{t,n} \geq \sum_n \text{Ausspeisung}_{t,n}$:

$$\text{Ausspeisung}_{t,\text{skaliert}} = \frac{\sum_n \text{Einspeisung}_{t,n}}{\sum_n \text{Ausspeisung}_{t,n}} * \text{Ausspeisung}_{t,n} \equiv \text{Durchfluss}_{t,n}$$

⁷⁴ Es wird also an den je NKP/NAP von den Netzbetreibern angegebenen Mengen $Q_{\max}$ bzw. Q_{jahr} angesetzt und nicht an deren Kennzeichnung als Einspeise- oder Ausspeisepunkt.

Falls $\sum_n \text{Einspeisung}_{t,n} < \sum_n \text{Ausspeisung}_{t,n}$:

$$\text{Einspeisung}_{t,\text{skaliert}} = \frac{\sum_n \text{Ausspeisung}_{t,n}}{\sum_n \text{Einspeisung}_{t,n}} * \text{Einspeisung}_{t,n} \equiv \text{Durchfluss}_{t,n}$$

Das Transportmoment in einem Teilnetz wird berechnet, indem das Produkt von Durchfluss und Transportentfernung (Distanz) unter Berücksichtigung der nachfolgenden Nebenbedingungen minimiert wird:

- Die (ggf. skalierten) eingespeisten Gasmengen müssen den (ggf. skalierten) ausgespeisten Gasmengen entsprechen;
- Zuordnung von Einspeisemengen zu Ausspeisungen am gleichen Standort sind nicht zulässig, da angenommen wird, dass die zugrunde gelegten Ein- bzw. Ausspeisungen zeitgleich auftreten (im Sinne des schwersten möglichen Belastungsfalls, analog RP2 und RP3).
- Eine Einspeisung ins Netz von einem Speicherstandort aus darf nicht an einen anderen Speicherstandort geleitet werden (sog. Speichertausch). Dies entspricht dem Vorgehen aus RP2 und RP3 und schließt einen in der Praxis i. d. R. nicht vorkommenden Fall bei zeitgleicher Betrachtung aus. Diese Restriktion gilt auch nur bei Teilnetzen mit mehr als einem Entry-Punkt, da mit nur einem Entry-Punkt diese Restriktion nicht erfüllt werden kann.

Formal wird je Teilnetz folgendes Problem gelöst, um das Transportmoment zu berechnen. Sei die Distanzmatrix gegeben durch $D = (D_{ab})_{a,b \geq 1}$, wobei ein Eintrag $D_{a,b}$ die Distanz zwischen Standort a und Standort b ist. Die Flussmatrix ist gegeben durch $F = (F_{ab})_{a,b \geq 1}$, wobei ein Eintrag $F_{a,b}$ den Gasfluss zwischen Punkt a und Punkt b darstellt. Das Transportmoment löst dann

$$\min_{(F_{ab})} \sum_{a,b \geq 1} F_{ab} D_{ab} \quad (1)$$

unter den Nebenbedingungen

$$\text{Durchfluss}_a = \sum_b F_{ab} \quad (2)$$

$$\text{Durchfluss}_b = \sum_a F_{ab} \quad (3)$$

$$\text{Nichtnegative Flüsse: } F_{ab} \geq 0, \forall a, b \quad (4)$$

$$\text{Ein – und Ausspeisung am selben Standort nicht zulässig: } F_{aa} = 0, \forall a \quad (5)$$

Zeitgleiche Einspeisung aus Speichern in andere Speicher nicht zulässig:

$$F_{sp} = 0, \forall s, p \in \{\text{Speicherstandort}\} \quad (6)$$

Nebenbedingung (4) wird hierbei nicht explizit programmiert, da die Restriktion implizit durch den verwendeten Solver „GNU Linear Programming Kit“ (GLPK) gegeben ist.

Die Nebenbedingungen (5) und (6) können für gewisse Teilnetze zu restriktiv sein und, wenn schrittweise weggelassen, zu allzu tiefen Werten für die jeweiligen Teilnetze führen. Die beiden Nebenbedingungen werden daher so modelliert, dass für das Optimierungsproblem zwischen den jeweiligen Punkten bzw. Speichern in der Distanzmatrix jeweils sehr hohe Werte hinterlegt werden (das Vierfache der maximal möglichen Distanz aller Netzbetreiber bei Punkten, das Dreifache bei Speichern), sodass die Mengen, die in der Flussmatrix für Speichertausch bzw. Punkttausch resultieren, minimiert sind. Für die Berechnung des TM als Multiplikation von Distanz- und Flussmatrix wird dann wieder die korrekte, unkorrigierte Distanzmatrix herangezogen.

Bei mehreren Teilnetzen je Netzbetreiber wird das Transportmoment als Summe aller Transportmomente der Teilnetze gebildet.

Da durch die multiplikative Verknüpfung von Distanz und Durchsatz hohe Werte resultieren, werden alle Werte zum Transportmoment zur besseren Lesbarkeit durch eine Million geteilt.

Zu untersuchende Varianten

Für die Transportmomentbildung gibt es verschiedene denkbare Varianten. Die berechneten Varianten werden entlang der folgenden Dimensionen gebildet:

- An den Anschlusspunkten ein- und ausgespeiste **Mengen** (Durchsatz):
 - Zeitungleiche „Leistung“ - analog RP3: Q_{max} der Einspeisungen bzw. Ausspeisungen, also die am entsprechenden Punkt maximale stündliche Ein- bzw. Ausspeisung in m^3/h ;
 - Zeitgleiche „Leistung“ – neu gebildet, da nun auch Q_{sim} , Werte vorliegen;
 - Arbeit: Neu gebildet mittels der Jahresarbeit Q_{jahr} an den einzelnen Punkten.
- Transportentfernung (**Distanzen**) zwischen den Anschlusspunkten:
 - „Luftlinie“ (LD): Analog zur RP1/RP2 werden zwischen den Entry- und Exitpunkten je einzelne, geradlinige Trassen angenommen, d. h. eine Verbindung auf der Luftlinie.
 - „Reale Distanzen“ (RD): Kürzest möglicher Weg von Einspeise- zu Ausspeisepunkten durch das im betrachteten Netz vorhandene Röhrensystem (Leitungsweg) ohne Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen oder Richtungsbeschränkungen. Entsprechende Angaben haben in der RP2 noch nicht vorgelegen und wurden in der RP3 erstmals ausgewertet. Die realen Distanzen können nur berechnet werden für zusammenhängenden Teilnetze (unter Berücksichtigung von komplettierenden Punkten, vgl. Abschnitt A.1.2).

Die Kombination dieser Dimensionen ergibt die in **Tabelle 31** dargestellten Varianten für das Transportmoment. Parameter, denen als Mengen Q_{max} -Angaben zugrunde liegen, betonen die Anforderungen für die Auslegung der Netze, während Parameter auf der Basis

von Q_{sim} die in einer Stunde des Jahres aufgetretene zeitgleiche maximale Netzlastsituation und Q_{jahr} mehr die Auslastung anzeigen. Parameter, die mit Luftliniendistanzen gebildet werden, drücken mehr den Aspekt der Versorgungsaufgabe aus, während Parameter mit realen Distanzen mehr die zu erfüllende Transportaufgabe betonen.

Tabelle 31: Parameternamen bei der Transportmomentbildung

	Luftliniendistanzen für alle Punkte je Gasqualität	Reale Distanzen in zusammenhängenden Teilnetzen je Gasqualität
„Leistung“ zeitungleich (Q_{max})	yTM_Qmax_LD	yTM_Qmax_RD
„Leistung“ zeitgleich (Q_{sim})	yTM_Qsim_LD	yTM_Qsim_RD
„Arbeit“ (Q_{jahrN})	yTM_Qjahr_LD	yTM_Qjahr_RD

Behandlung Biogas, Investitionsmaßnahmen, MRU, GP, Komplettierende Punkte, doppelte Leitungen

Wie oben in Abschnitt A.1.2 ausgeführt und begründet, werden

- Leitungen und Punkte mit Biogas- bzw. Investitionsmaßnahmen für die Bildung der Fluss- und Transportmatrizen berücksichtigt, ebenso komplementierende Punkte;
- MRU-Mengen Jahresarbeit, wie gemeldet, verwendet, Lasten jedoch nur bei der Gasqualität berücksichtigt, die den jeweils höheren Wert aufweist;
- bei GP-Punkten keine Korrekturen angebracht;
- bei doppelten Leitungen (identische Standorte der Enden, aber unterschiedlicher Verlauf) die Belastung nur auf die jeweils kürzere Leitung berechnet.

Beispiel Berechnung Transportmoment

Tabelle 32 zeigt beispielhaft die Berechnung des Transportmoments für ein Teilnetz mit zwei Einspeisepunkten (EP) und zwei Ausspeisepunkten (AP). Da im Beispiel die Einspeisung pro Zeiteinheit t 300 m^3 beträgt, die Ausspeisung aber nur $250 \text{ m}^3/t$, wird letztere mit dem Faktor $300/250$ skaliert. Da die Transportentfernung zwischen EP1 und AP1 sehr hoch ist, fließen die $100 \text{ m}^3/t$ von EP1 vollständig zu AP2, von EP2 aus verteilen sich die Mengen.

Tabelle 32: Beispiel Transportmomentberechnung

	Distanzmatrix		Lösung (Flussmatrix)	
	EP1	EP2	EP1 Einsp. $100 \text{ m}^3/t$	EP2 Einsp. $200 \text{ m}^3/t$
AP1 Aussp. $150 \text{ m}^3/t$ (skaliert auf $180 \text{ m}^3/t$)	40 km	20 km	$0 \text{ m}^3/t$	$180 \text{ m}^3/t$
AP2 Aussp. $100 \text{ m}^3/t$ (skaliert auf $120 \text{ m}^3/t$)	10 km	10 km	$100 \text{ m}^3/t$	$20 \text{ m}^3/t$

Quelle: Eigene Darstellung

Im Beispiel ist somit:

- Einspeisemenge $300 \text{ m}^3/t$

- Ausspeisemenge 250 m³/t
- Durchsatz 300 m³/t
- Transportmoment $40 \cdot 0 + 20 \cdot 180 + 10 \cdot 100 + 10 \cdot 20 = 4800 \text{ km} \cdot \text{m}^3/\text{t}$
- Mittlere Transportentfernung⁷⁵ Transportmoment / Durchsatz = 16 km

A.2.8 Transportwurzelmoment

Beim Transportwurzelmoment soll die Transportentfernung multiplikativ mit dem für den Transport notwendigen Rohrleitungsdurchmesser, der für die Lieferung der entsprechenden Mengen notwendig ist, verknüpft werden.

TWM1.0

Basis für die Bildung des Transportwurzelmoments sind die Durchfluss- und Distanzmatrizen des Transportmoments mit Q_{max} mit realen Distanzen (yTransportmom_Q_{max}_RD). Danach wird jede Gasmenge der Durchflussmatrix den Leitungsabschnitten zugeordnet, durch die das Gas auf dem kürzesten Weg⁷⁶ durch das Leitungssystem fließen kann. Anschließend werden je Leitungsabschnitt die zugeordneten Mengen summiert. Aufgrund des quadratischen Zusammenhangs zwischen Leitungsdurchmesser und der –fläche bzw. dem Leitungsvolumen wird von der Gesamtmenge, die durch den Leitungsabschnitt zirkulieren können muss, die Wurzel gezogen, um den notwendigen Leitungsdurchmesser anzunähern, der sich aufgrund von Skaleneffekten proportional zu den Errichtungskosten verhält. Dieser Wert wird mit der Länge des Leitungsabschnitts multipliziert und entspricht einem relativen Näherungswert für die Errichtungskosten des Leitungsabschnitts. Die Summe über alle Leitungsabschnitte ergibt das Transportwurzelmoment des untersuchten Netzes. Wie beim Transportmoment mit realen Distanzen erfolgt die Bildung jeweils separat für die einzelnen (vollständigen) Teilnetze.

TWM2.0

Beim TM bzw. TWM1.0 werden Schiefstände zwischen der Entry- und Exitseite durch Hochskalieren ausgeglichen. Die Versorgungsaufgabe auf der kleineren Seite wird höher dargestellt als von den FNB rapportiert.

In einer Weiterentwicklung des TWM wird daher beim TWM2 möglichst jeder Punkt nominal auf dem gemeldeten Wert behandelt. Hierzu werden auf der größeren Seite iterativ

⁷⁵ Parameter der RP3, in RP4 nicht mehr gebildet.

⁷⁶ Die trassentreue Mindestdistanz berücksichtigt keine Einschränkungen auf den Trassen (Kapazitätsgrenzen, ggf. fehlende Reverse-Flow-Fähigkeit); hierdurch wird die endogene Beeinflussbarkeit des Parameters durch den FNB (z. B. durch die Herabsetzung von Leitungskapazitäten) stark begrenzt – außerdem ist zu erwarten, dass die Nutzung freier Kapazitäten auf einem bestehenden Umweg für den FNB nicht weniger wirtschaftlich ist, als der Ausbau einer bestehenden Trasse.

eine Teilmenge von Punkte auf den gemeldeten Wert gesetzt, bis alle Punkte der größeren Seite einmal auf dem gemeldeten Wert waren.⁷⁷

Bei der Iteration wird wie folgt vorgegangen: Es wird der jeweils größte Punkt, der noch nicht auf den gemeldeten Wert gesetzt war, auf ebendiesen gesetzt. Anschließend werden weitere Punkte auf den gemeldeten Wert gesetzt, die durch das Leitungssystem möglichst nah zu diesem Punkt stehen, bis insgesamt die Menge der kleineren Seite resultiert. Es werden möglichst nahe Punkte gewählt, um der Quellendiversifikation Rechnung zu tragen.

Die verschiedenen Iterationen werden so kombiniert, dass für einen einzelnen Leitungsabschnitt der größte Fluss über alle Iterationen hinweg herangezogen wird. Die so resultierenden (maximalen) Flüsse je Leitungsabschnitt werden analog zum TWM1.0 mit der Wurzel bewertet.

Behandlung Biogas, Investitionsmaßnahmen, MRU, GP, Komplettierende Punkte

Die Berücksichtigung erfolgt analog zum Transportmoment mit dem Unterschied, dass die aus der Flussmatrix resultierenden Flüsse auf mit Biogas oder Investitionsmaßnahmen gekennzeichneten Leitungsabschnitten vor der Parameterbildung auf Null gesetzt werden.

A.2.9 Netzcharakteristiken: Verzweigungen und Maschen

Anhand der EHB-Daten zu Leitungsabschnitten, die sich in vollständigen Teilnetzen befinden, werden zudem folgende Parameter zur Abbildung der Anzahl Verzweigungen und Maschen gebildet. Stützpunktdaten sowie separat gelieferte GIS-Daten werden nicht verwendet. Ebenfalls nicht berücksichtigt werden doppelte Leitungsabschnitte gemäß EHB, die zwischen den gleichen Start- und Endpunkten verlaufen sowie Leitungsabschnitte, bei denen Start- und Endpunkte zusammenfallen. Die verbleibenden Start- und Endpunkte (jeweils nur einmal gezählt) bilden die Knoten, wie sie in diesem Abschnitt nachfolgend bezeichnet werden (und somit von den Knoten-Angaben im EHB abweichen können).

Anzahl Verzweigungen

Der Parameter „Anzahl Verzweigungen“ misst die Anzahl von Verzweigungen im Netz. Hierfür wird pro Knotenpunkt die Anzahl mit Leitungsabschnitten direkt⁷⁸ verbundenen Knoten an anderen Standorten aufsummiert. Von dieser Summe werden zwei subtrahiert,

⁷⁷ In Ausnahmefällen ist dies nicht möglich, wenn ein einzelner Punkt grösser als die gesamte kleinere Seite ist. In dem Fall erfolgt eine Herabskalierung dieses Punktes, da er offensichtlich zu groß ausgelegt ist, um die kleinere Seite zu bedienen. Auf diese Weise gehen insgesamt weniger als 2 Promille der Mengen „verloren“.

⁷⁸ Es besteht also eine direkte Verbindung zu einem anderen Knoten via Leitungsabschnitt vom Knoten aus (ohne dabei andere Knoten zu passieren).

da nur zwei bzw. ein⁷⁹ verbundener Knoten noch keine Verzweigung darstellt. Für das gesamte Netz werden dann die Anzahl Verzweigungen pro Knoten aufsummiert.

Formal berechnet sich die Anzahl Verzweigungen wie folgt

$$y\text{Branches_num} = \sum_i \max \left(-2 + \sum_j L_{ij}, 0 \right)$$

wobei $L_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{falls Leitungsabschnitt von } i \text{ nach } j \text{ existiert} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$.

Anzahl Maschen

Der Parameter „Anzahl Maschen“ misst die Anzahl unabhängiger (durch Leitungsabschnitte verbundener)⁸⁰ Maschen im Netz. Unabhängige Maschen sind Maschen, welche nicht durch eine Kombination von anderen Maschen im Netz gebildet werden können.

Die Anzahl Maschen berechnet sich dann für ein einzelnes vollständiges Teilnetz n als

$$y\text{Meshes_num}_{tn} = m_{tn} - n_{tn} + 1,$$

bzw. für die Summe aller Teilnetze als

$$y\text{Meshes_num} = \sum_{tn} (m_{tn} - n_{tn}) + TN,$$

wobei m die Anzahl Leitungsabschnitte, n die Anzahl Knoten – beide aus jeweils den vollständigen Teilnetzen – und TN die Anzahl vollständiger Teilnetze darstellt.

A.2.10 Gebietseigenschaften

Auf der Grundlage der gebietsstrukturellen Daten der BNetzA⁸¹ werden folgende Parameter gebildet.

- Der Parameter zur **mittleren Hangneigung** wurde analog zur RP3 unverändert vom von der BNetzA zur Verfügung gestellten Datensatz übernommen. Die maximale Höhendifferenz wurde nicht übernommen, da aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht die Kostenwirkung vorwiegend auf die Hangneigung zurückzuführen ist.
- Wie in der RP3 werden die Parameter des **VNB-Benchmarking** der RP2 auf der Grundlage der Eingangsdaten sinngemäß gebildet mit den Anpassungen analog zum EFG3:
 - Die bei Fernleitungen relevanten Bodentiefen bis zwei Meter werden berücksichtigt;

⁷⁹ Bei einem Endpunkt besteht nur ein verbundener Knoten. Hier resultiert zunächst ein Wert von minus eins. In dem Fall greift der Maximum-Teil der Formel, d. h. es wird ebenfalls ein Wert von null verwendet.

⁸⁰ Maschen, die aus unverbundenen Kreuzungen entstehen, wo also z. B. zwei Leitungen auf unterschiedlicher Bodenhöhe kreuzen, ohne dass diese miteinander verbunden wären, zählen somit nicht.

⁸¹ Zur Bildung der gebietsstrukturellen Ausgangsdaten siehe Björnson Beratende Ingenieure (2021).

- Da Korridore ausgewertet werden, wird ebenfalls die besonders aufwändig zu bearbeitende Bodenklasse 7 berücksichtigt, die beim Flächenansatz bei den VNB noch in der Annahme ausgeschossen worden war, dass diese Bodenklasse durch bauliche Maßnahmen umgangen würde.
- Beim EFG3 wurden gestützt auf die Praxiserfahrung der damaligen Ingenieure Parameter mit den Bodenklassen 0, 2, 6 und 7 eingeführt. Diese werden wiederum gebildet. Bei einer ersten Variante werden die vorherrschenden Bodenklassen 0, 2, 6 und 7 berücksichtigt. Aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht kann angenommen werden, dass deren Erschließung mit Gasleitungen für FNB besonders teuer ist. In der Variante wird möglicher Mehraufwand berücksichtigt z. B. für Gewässerkreuzungen (näherungsweise Bodenklasse 0), zusätzliche Sicherungen (Baugruben/Auftrieb, Bodenklasse 2)⁸², Bodenaustausch und erhöhter Grabungsaufwand und Sicherung gegen mechanische Einwirkungen (Bodenklassen 6 und 7). Ein analoger Parameter wurde ebenfalls für die vorliegenden Grabbarkeitsklassen gebildet (0, 3, 7, 8).
- Da Boden- und Grabbarkeitsklassen in aufsteigender Reihenfolge nicht durchwegs zu höheren Kosten führen und überdies Kosten in Verbindung mit Wasserhaltung nicht direkt abgebildet sind, wurden vom Gutachter der Bundesnetzagentur für die RP4 **Aufwandsklassen** erarbeitet, welche den Aufwand für Netzbetreiber in aufsteigender Reihenfolge in acht Ausprägungen abbilden (vgl. Methodenbericht⁸¹). Aufwandsklasse 7 ist am teuersten. Es wurden zwei Parameter gebildet, welche die Aufwandsklassen 4 bis 7 («teuer») bzw. 6 bis 7 («besonders teuer») abbilden.

Tabelle 33 listet die in den Effizienzvergleich aufgenommenen Parameter auf.

Tabelle 33: Z-Parameter zur Abbildung der Gebietseigenschaften

Parameter	Beschreibung
zGeo_NEIG_avg	Mittlere Hangneigung; direkt von BNetzA-Datensatz
zSoil_BK4567_V02	VNB RP2 übertragen auf FNB analog RP3
zSoil_BK4567_M02	VNB RP2 übertragen auf FNB analog RP3
zSoil_BK567_V02	VNB RP2 übertragen auf FNB analog RP3
zSoil_BK567_M02	VNB RP2 übertragen auf FNB analog RP3
zSoil_BK0267_V02	Bodenklassen mit höheren Kosten analog RP3 vorherrschend in 0 bis 2 Metern Tiefe
zSoil_GB0378_V02	Grabbarkeitsklassen mit höheren Kosten analog RP3 vorherrschend in 0 bis 2 Metern Tiefe
zSoil_AK4567_V02	Teure Aufwandsklassen 4 bis 7 vorherrschend in 0 bis 2 Metern Tiefe
zSoil_AK67_V02	Besonders teure Aufwandsklassen 6 bis 7 vorherrschend in 0 bis 2 Metern Tiefe

Quelle: Eigene Darstellung

⁸² Im Gegensatz zu Verteilnetzleitungen können Ferngasleitungen aus Stahl nur sehr aufwendig grabenlos in der Bodenklasse 2 verlegt werden. Somit entsteht hier ein erhöhter Verlegungsaufwand.

A.3 Dokumentation der Parameter: Übersichten für die Netzbetreiber

Aufgrund der gestaffelten und mehrfachen Lieferung der Strukturdaten der Netzbetreiber werden die Parameter automatisiert erstellt und den Netzbetreibern durch die BNetzA zur Prüfung vorgelegt. Jedem Netzbetreiber werden hierfür folgende Daten übergeben:

- **Datenquittung A:** Die FNB erhielten den von Ihnen zuletzt übermittelten Erhebungsbogen sowie daraus ablesbare Parameter;
- **Datenquittung B:** Die FNB erhielten wiederum die ablesbaren Parameter ergänzt um Fremdnutzungsanteile, wo möglich. Weiterhin enthielt die Datenquittung B von der BNetzA erstellte graphische interaktive Netzkarten mit einer Übersicht über die ermittelten Teilnetze und Flächen, dazu ausgewählte gebietsstrukturelle Daten;
- **Datenquittung C:** Die FNB erhielten aus Ihren übermittelten Daten errechnete Parameter. Ebenso wurde den Netzbetreibern der vorliegende Anhang als eigenständiges Begleitdokument zu den Parameterbildungsregeln beigelegt.

Die FNB wurden aufgefordert, diese erhaltenen Datenquittungen zu prüfen und zu bestätigen bzw. fehlerhafte Berechnungen der BNetzA zu melden oder Korrekturen im EHB durchzuführen und diesen neu der BNetzA zu übermitteln.

B Anhang Parameterliste mit Gruppenzugehörigkeit

Tabelle 34: Liste der Parameter mit deskriptiven Statistiken

Nr.	Parametergruppe	Parametername [Einheit]	Variablenname	Mittelwert	Std.Abw.
A1	Aufwandsparameter	standardisierte TOTEX	cTotexS	115'827'509	142'133'693
A2		nicht standardisierte TOTEX	cTotexN	116'328'375	143'544'401
1	Rohrgeometrie	Leitungslänge [km]	yPipe_length	2'560	2'991
2		Rohrleitungsvolumen [m3]	yPipe_volume	792'995	999'810
3		Rohrleitungsmantelfläche outputorientiert [m2]	yPipe_surface	4'631'800	5'672'919
4		Rohrleitungsmantelfläche inputorientiert [m2]	yPipe_surface_input	3'984'045	5'036'241
5	Jahresarbeit	Jahresarbeit Einsp. [nm³]	yEnergy_injected	17'287'576'883	18'598'013'690
6		Jahresarbeit Aussp. [nm³]	yEnergy_delivered	16'499'675'163	17'605'796'763
7		Vertikaler Transport [nm³]	yEnergy_delivered_vertical	5'591'693'012	7'711'232'911
8		Horizontaler Transport [nm³]	yEnergy_delivered_horizontal	10'907'982'151	12'082'278'821
9	Last	Zeitgleiche Netzlast Einsp. [nm³/h]	yPeakload_injec_Qsim	3'235'804	3'371'077
10		Zeitgleiche Netzlast Aussp. [nm³/h]	yPeakload_deliv_Qsim	3'190'376	3'295'762
11		Zeitungleiche Jahreshöchstlast Einsp. [nm³/h]	yPeakload_injec_Qmax	6'656'999	7'938'596
12		Zeitungleiche Jahreshöchstlast Aussp. [nm³/h]	yPeakload_deliv_Qmax	6'563'985	7'516'326
13		Vertikale Last [nm³/h]	yPeakload_deliv_Qmax_vertical	1'998'685	2'948'251
14		Horizontale Last [nm³/h]	yPeakload_deliv_Qmax_horizontal	4'565'300	5'244'993
15		Anzahl Einspeisepunkte [#]	yPoints_entry_num	21	18
16	Anschlüsse	Anzahl Ausspeisepunkte [#]	yPoints_exit_num	225	336
17		Anzahl Ein- und Ausspeisepunkte [#]	yPoints_num	246	350
18	Verdichter und Regler	Anzahl Verdichter [#]	yCompressor_num	11	16
19		Verdichterleistung [MW]	yCompressor_power_sum	128	206
20		Treibenergie [MWh]	yCompressor_energy_used	241'508	446'133
21		Anzahl Druckregler [#]	yController_num	71	91
22		Nenndurchfluss Druckregler [nm³/h]	yController_flow	15'664'080	16'580'649
23	Polygonfläche	Polygonfläche teilnetzscharf [m²]	yArea	74'748'100'011	101'599'884'537
24		Polygonfläche alle Punkte und Leitungen	yArea_all	76'802'225'654	101'217'494'592
25		Polygonfläche an VNB und Letztverbraucher	yArea_vertical	44'106'122'857	69'170'497'089
26	TM/TWM	Transportmoment Leistung	yTM_Qmax_LD	756'395	726'647
27			yTM_Qmax_RD	1'040'118	1'052'955
28		Transportmoment Arbeit	yTM_Qjahr_LD	2'848'959'283	3'169'040'636
29			yTM_Qjahr_RD	3'934'468'490	4'652'941'645
30		Transportwurzelmoment 1 Qmax	yTWM1_Qmax	1'099'133	1'106'429
31		Transportwurzelmoment 1 Qsim	yTWM1_Qsim	866'534	918'234
32		Transportwurzelmoment 1 Qjahr	yTWM1_Qjahr	65'183'163	70'118'606
33		Transportwurzelmoment 2 Qmax	yTWM2_Qmax	1'121'386	1'186'926
34		Anzahl Verzweigungen [#]	yBranches_num	464	745
35		Anzahl Maschen [#]	yMeshes_num	56	98
36	Gebietseigenschaften	Neigung	zGeo_NEIG_avg	2.19	5.90
37		Bodenklassen	zSoil_BK4567_V02	28	26
38			zSoil_BK4567_M02	40	26
39			zSoil_BK567_V02	3.28	9.99
40			zSoil_BK567_M02	14	22
41		Grabbarkeitsklassen	zSoil_BK0267_V02	2.32	4.64
42			zSoil_GB0378_V02	2.98	9.24
43		Aufwandklassen	zSoil_AK4567_V02	1.48	4.26
44			zSoil_AK67_V02	0.01	0.14

Quelle: Eigene Darstellung

C Anhang TWM2 – Weiterentwickeltes Transportwurzelmoment

Die Grundidee des Transportmoments (TM) und des Transportwurzelmoments (TWM) ist es, die zu leistende, exogen gegebene Transportaufgabe abzubilden, die sich aus den Ein- und Ausspeisemengen ($Q_{\max}$, Q_{sim} , Q_{jahr}) an den Netzanschluss- und Koppelungspunkten ergibt.

Transportmoment (TM)

Hierzu werden in einem ersten Schritt in einem Optimierungsproblem die Arbeit oder Leistung der Entry-Punkte auf kürzestem Weg auf die Arbeit bzw. Leistung der Exit-Punkte aufgeteilt. Dabei werden entweder Luftliniendistanzen hinterlegt (LD) oder es stehen die realen Trassenverläufe zur Auswahl (RD). In einem zweiten Schritt wird dann das TM als Summe der Produkte aus transportierter Arbeit bzw. Leistung und zurückgelegter Distanz über alle Luftliniendistanzen bzw. realen Trassen berechnet.

Transportwurzelmoment der RP3 (TWM1)

Das in der RP3 entwickelte TWM, nachfolgend TWM1 genannt, stellt eine Weiterentwicklung des TM dar. Beim TWM1 wird im zweiten Schritt je Leitungsabschnitt die Wurzel der transportierten Leistung mit der Transportdistanz multipliziert, da die Errichtungskosten eine starke Korrelation mit dem Durchmesser bzw. Rohrmantelfläche einer Leitung aufweisen, diese wiederum aber quadratisch mit der transportierbaren Leistung korrelieren. Das TWM1 kann damit als Versuch interpretiert werden, die auf einem Rohrleitungsabschnitt tatsächlich fließende Gasmenge mit den Kosten der notwendigen Trassenlänge und des notwendigen Rohrleitungsquerschnitts in Korrelation zu bringen. Anders als das tatsächliche Rohrleitungsvolumen bzw. -mantelfläche berücksichtigt der Parameter die exogene Transportaufgabe des FNB und nicht die durch den FNB tatsächlich verlegten Rohrleitungsquerschnitte.

Die Bildung der Parameter TM und TWM1 erfordert beim Lösen des Optimierungsproblems eine ausgeglichene Leistungs- bzw. Energiebilanz zwischen Ein- und Ausspeisung. Die gemeldeten Daten der FNB weisen jedoch Schiefstände zwischen der Entry und Exit Arbeit bzw. Leistung (zeitgleich und zeitungleich auf), vgl. auch Abbildung 21 in Abschnitt 4.4.3. Dies kann folgende Ursachen haben:

- Netzbetrieb (Netzpuffer, Treibenergie)
- Redundante Quellen oder nicht gleichzeitige Ausspeisungen (bei Leistung)
- Marktraumumstellung (wurde durch zusätzliche Datenabfrage der BNetzA behoben)
- Bruchteilsgemeinschaften (BTG)
 - Nicht gemessene Übergaben zwischen den FNB auf Leitungen in BTG
 - Arbeit/Leistung gemeinschaftlicher Punkte auf einzelne FNB nicht separat messbar; Annähernde Aufschlüsselung durch FNB unter Vorgaben der BNetzA

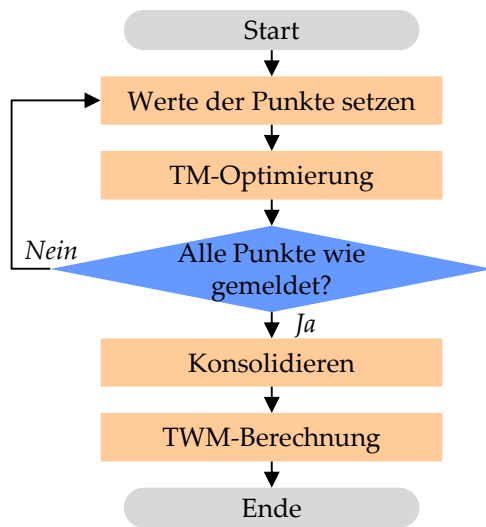
Bei Schiefständen in den gemeldeten Daten ist eine Normierung zum Ausgleich der Bilanz notwendig. Dabei wurde in den vergangenen Regulierungsperioden alle Werte der kleineren Seite (Entry- oder Exit-Seite) mittels eines Korrekturfaktors so hochskaliert, dass sie in Summe der Summe der vormals größeren Seite entsprechen. Dies kann insbesondere bei hohen Schiefständen zu einer starken Überschätzung der tatsächlich notwendigen Netzauslegung führen. Das Skalieren führt zudem dazu, dass die Parameter TM und TWM1 an räumlicher Genauigkeit verlieren, da die ergänzten Mengen pauschal auf die vorliegenden Punkte verteilt werden.

Transportwurzelmoment 2 (TWM2)

Aus diesen Gründen wird mit dem Transportwurzelmoment 2 (TWM2) eine **verfeinerte Methode zum verbesserten Umgang mit Schiefständen** vorgestellt, die von der Grundidee auf dem Algorithmus des TWM1 aufbaut. Diese benötigt zur Berechnung im gesamten Berechnungsprozess keine ausgeglichene Bilanz und damit kein pauschales Hochskalieren zum Ausgleich von Schiefständen⁸³. So sollen den zunehmenden Schiefständen zwischen Entry- und Exitleistung aus den oben genannten Gründen Rechnung getragen.

Der Berechnungsprozess (**Abbildung 36**) nutzt mehrere, iterative Berechnungsvorgänge, die im Grundsatz der Berechnungslogik des TWM1 folgen. Innerhalb einer Iteration werden stets die Werte der kleineren Seite wie gemeldet angenommen. Zum Ausgleich der Bilanz werden nur eine gewisse Menge der Werte der höheren Seite wie gemeldet berücksichtigt und die übrigen Werte zu 0 gesetzt oder bei Bedarf runtergesetzt («Werte der Punkte setzen»). In dieser Konstellation wird der erste Schritt des TM/TWM Algorithmus, das Optimierungsproblem («TM-Optimierung»), gelöst. Das Vorgehen wird solange iterativ wiederholt, bis jeder Wert der höheren Seite mindestens einmal mit seinem gemeldeten Wert berücksichtigt wurde. Damit werden insgesamt im Berechnungsprozess alle Werte zu ihrem gemeldeten Maximalwert berücksichtigt, d. h. die Transportaufgabe wird vollständig abgebildet, allerdings keine Werte über die gemeldeten Werte hinaus erhöht. Eine Ausnahme besteht, wenn die Summe der kleineren Seite kleiner ist als der höchste Wert der größeren Seite. In diesem Fall wird der Wert der größeren Seite auf die Summe der kleineren Seite herunterskaliert.

⁸³ Schiefstände müssen trotzdem im Rahmen der Datenvalidierung erklärbar sein.

Abbildung 36: Berechnungsprozess des TWM2

Quelle: Eigene Darstellung

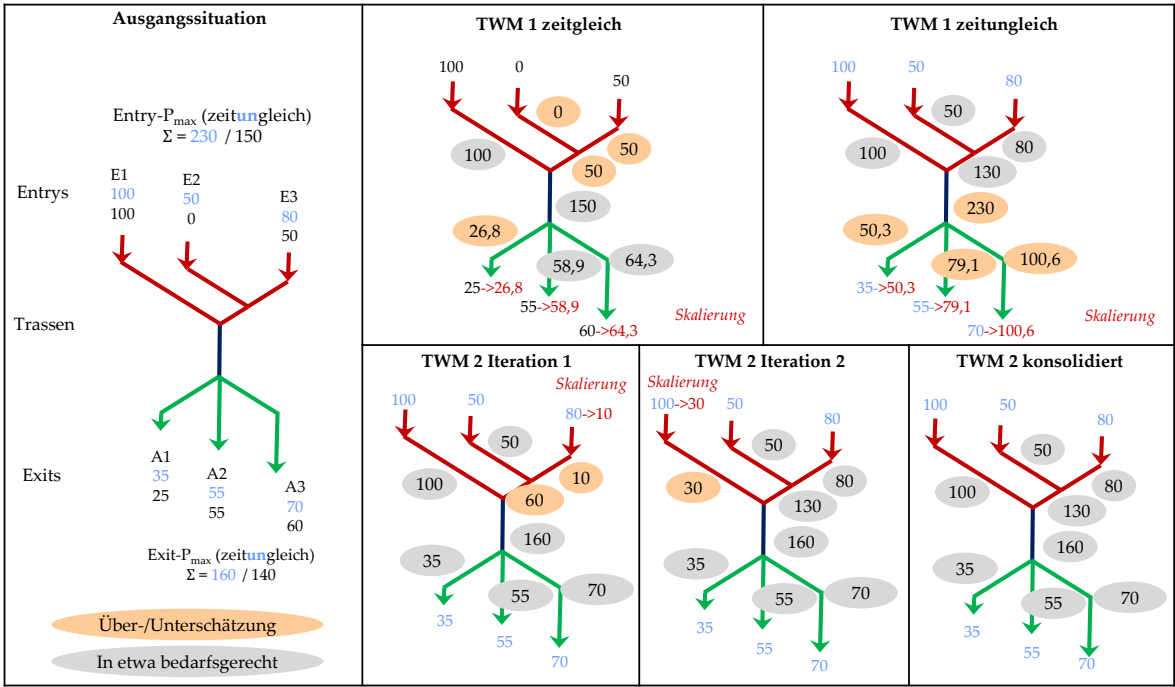
Startpunkt einer Iteration («Werte der Punkte setzen») ist jeweils der Punkt der höheren Seite, der den höchsten Wert aller noch nicht vollständig berücksichtigten Punkte aufweist. Anschließend werden weitere Punkte auf den gemeldeten Wert gesetzt, die durch das Leitungssystem möglichst nah zu diesem Punkt stehen, bis insgesamt in Summe der Werte der kleineren Seite resultiert. Es werden möglichst nahe Punkte gewählt, um einen hohen Parameterwert zu erreichen, der überführt auf die Netzauslegung eine hohe Versorgung aus einer Richtung ermöglicht.

Abschließend werden die Ergebnisse der einzelnen Iterationen konsolidiert («Konsolidieren»). Dazu wird auf jeder Trasse der jeweilige Maximalwert der transportierten Leistung über alle Iterationen ermittelt. Auf dieser Basis wird das TWM gemäß des 2. Schritts des TM/TWM Algorithmus als Summe der Produkte aus Wurzel der Leistung und Trassenlänge über alle Leitungsabschnitte berechnet («TWM-Berechnung»). Der Parameter wird aufgrund des Zweckes dieses Parameters, eine theoretisch optimierte Netzauslegung abzubilden, ausschließlich mit der zeitungleichen Jahreshöchstlast gebildet ($Q_{\max}$).

Vor- und Nachteile des Parameters werden im Rahmen der qualitativen Parameterdiskussion (Abschnitt 3.4.9) erörtert.

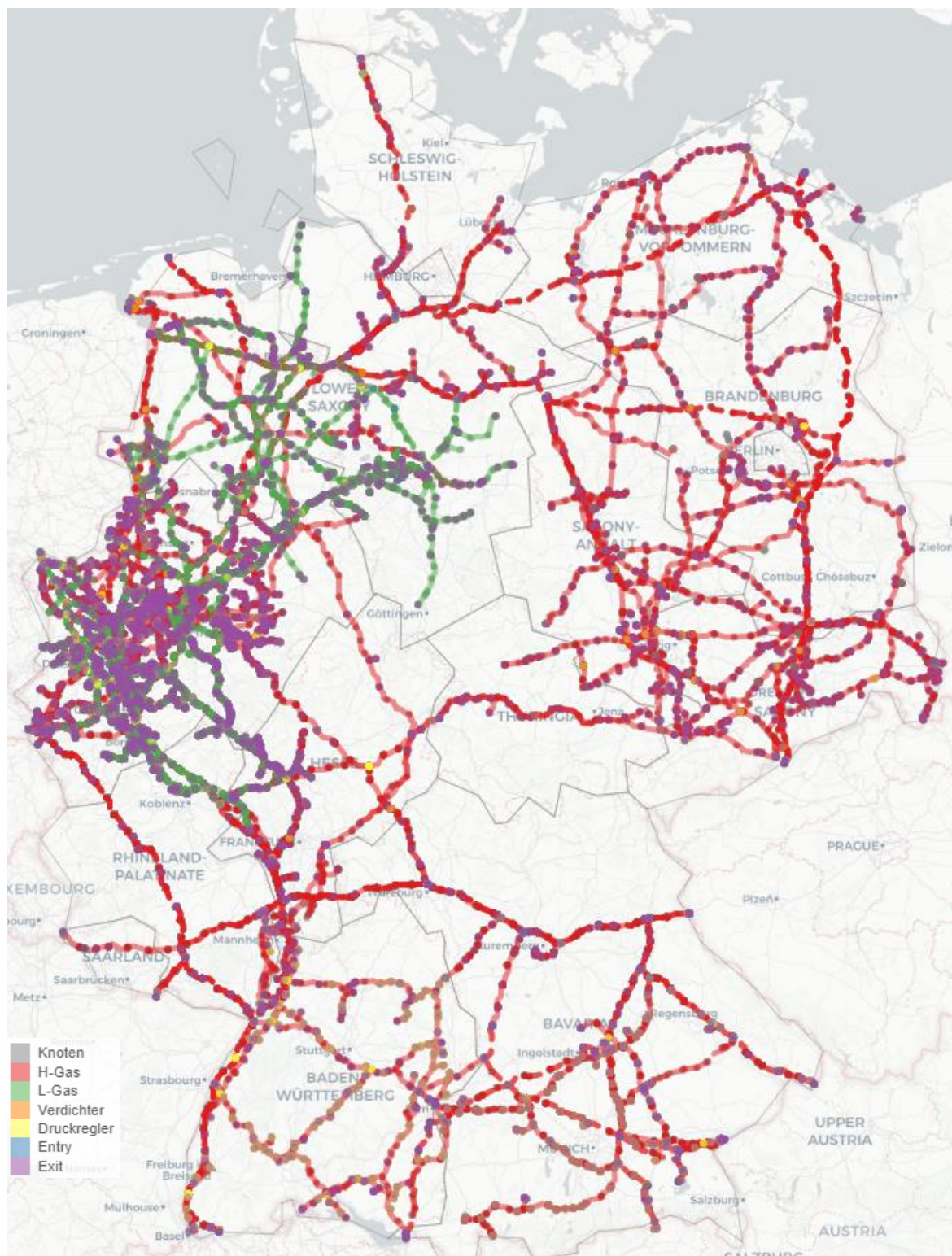
Abbildung 37 stellt für ein exemplarisches Netz mit Schiefständen in der zeitgleichen und zeitungleichen Jahreshöchstlast die Bildungslogik von TWM1 bei zeitgleicher und zeitungleicher Bildung sowie von TWM2 gegenüber. In diesem Beispiel zeigt sich, dass es bei TWM1 zeitgleich eher zu einer Unterschätzung der erforderlichen Netzauslegung kommt, bei TWM1 zeitungleich dagegen zu einer Überschätzung. Das konsolidierte TWM2 Ergebnis dagegen führt zu einer bedarfsgerechten Auslegung.

Abbildung 37: Vergleich der Bildung von TWM1 und TWM2



Quelle: Eigene Darstellung

D Anhang graphische Abbildung des Leitungsnetzes



Quelle: Eigene Darstellung

E Anhang Parameter und Effizienzwerte finales Modell

Gestützt auf die ARegV sind in **Tabelle 35** die Parameter des finalen Modells angegeben, **Tabelle 36** enthält die individuellen Effizienzwerte vor und nach Ausreißeranalyse (AA).

Tabelle 35: Werte der Parameter des finalen Modells (gerundet)

NB	cTotexN	cTotexS	yPipe_volume	yCompressor_power_sum	yPoints_exit_num	yArea
12000436	136929892	144577918	502401.49	94.16	1065	39403.38
12001284	69426107.31	68697697.52	565736.81	197.44	31	38418.78
12001328	37562989.02	36677427.94	185973.5	1	119	24539.15
12001368	586713171.5	575962449.3	4013968.49	781.58	1045	390132.99
12001807	280494421.9	275170310.9	1710447.49	482.45	116	219042.01
12001831	227207912.6	237253298.3	2054171.9	38.25	478	88156.08
12002778	64568305.09	59495480.07	325541.44	35.32	190	34274.49
12003049	84010362.31	86027074.19	278997.19	35.6	209	43060.57
12003209	167451218.1	169916322	1115960.02	160.08	207	179805.58
12003483	43679998.15	45307399.55	565383.02	79.28	3	9945.36
12003492	17012116.49	13706550.98	141345.76	19.82	2	9945.36
12003614	46155145.19	54822806.24	470630.51	115.62	24	20801.34
12003651	35178743.12	26700753.82	273901.76	0	7	82922.15
12003653	16198304.09	15919159.52	37754.31	0	72	4619.99
12003660	38553395.13	32246131.54	334738.08	0	8	9002.19
12011347	10111911.26	10759357.45	110963.55	0	20	1900.19

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 36: Effizienzwerte des finalen Modells im Einzelnen (gerundet)

	cTotexS vor AA	Aus-reißer?	cTotexS nach AA	cTotexN vor AA	Aus-reißer?	cTotexN nach AA	Best-of vor AA	Aus-reißer?	Best-of nach AA
12000436	100.0%	1	100.0%	100.0%	1	100.0%	100.0%	1	100.0%
12001284	100.0%	0	100.0%	100.0%	0	100.0%	100.0%	0	100.0%
12001328	75.3%	0	100.0%	74.8%	0	100.0%	75.3%	0	100.0%
12001368	83.7%	0	100.0%	84.6%	0	100.0%	84.6%	0	100.0%
12001807	80.4%	0	93.8%	76.7%	0	96.0%	80.4%	0	96.0%
12001831	90.8%	0	98.8%	89.6%	0	98.1%	90.8%	0	98.8%
12002778	72.0%	0	99.1%	77.0%	0	100.0%	77.0%	0	100.0%
12003049	56.1%	0	83.5%	53.0%	0	79.6%	56.1%	0	83.5%
12003209	83.7%	0	100.0%	75.6%	0	100.0%	83.7%	0	100.0%
12003483	100.0%	0	100.0%	100.0%	0	100.0%	100.0%	0	100.0%
12003492	75.0%	0	86.4%	90.3%	0	100.0%	90.3%	0	100.0%
12003614	100.0%	0	100.0%	88.4%	0	90.0%	100.0%	0	100.0%
12003651	100.0%	1	100.0%	100.0%	1	100.0%	100.0%	1	100.0%
12003653	62.2%	0	100.0%	65.2%	0	100.0%	65.2%	0	100.0%
12003660	69.8%	0	71.7%	85.6%	0	88.0%	85.6%	0	88.0%
12011347	100.0%	0	100.0%	100.0%	0	100.0%	100.0%	0	100.0%

Quelle: Eigene Darstellung